

Notas sobre o Problema da Avaliação do Escoamento

POR

RUY MAYER

Professor de Hidráulica Geral e Agrícola
no Instituto Superior de Agronomia

SUMÁRIO

1. Escoamento. Coeficiente de escoamento. 2. Escoamento mensal. 3. Escoamento médio anual. Escoamento superficial e cortical. 4. Factores que influem no escoamento superficial. 5. Condições topográficas. 6. Condições geológicas. 7. Revestimento vegetal. 8. Extensão de lagos e zonas apauladas. 9. Quantidade e distribuição das precipitações pluviais. 10. Escoamento cortical. Factores que nêle influem. 11. Apreciação, em conjunto, dos factores que influem no escoamento. 12. Processos de determinação do escoamento médio anual. 13. Método da medição directa. 14. Outros métodos de determinação do escoamento médio anual. 15. Método da simples generalização. 16. Método comparativo directo. 17. Método da percentagem da altura pluviométrica. 18. Método empírico. 19. Método hidrofísico. 20. Estimativa do escoamento, no caso de não existirem dados pluviométricos nem resultados de medições do caudal dos cursos de água. 21. Escoamento máximo provável. 22. Factores que influem no escoamento máximo. 23. Determinação do escoamento máximo provável. Fórmulas.

1. Escoamento. Coeficiente de escoamento

Denomina-se *escoamento* a parte da precipitação pluvial que é fornecida a um ou mais cursos de água pela respectiva bacia hidrográfica. Num determinado período, a quantidade de água escoada é diferente da quantidade de água de chuva caída, e geralmente (embora não sempre) inferior a ela.

Procura-se relacionar uma com a outra recorrendo ao conceito de *coeficiente de escoamento*, que se define como a razão entre a quantidade de água de chuva caída numa bacia hidrográfica durante um

dado período, e a quantidade de água que corre, durante o mesmo período, no leito do curso, ou cursos, que a bacia alimenta. Este assunto é de considerável importância para o engenheiro hidráulico, e é da maior conveniência discuti-lo atentamente, tanto mais que as intrincadas questões que se relacionam com a avaliação do escoamento não são em regra expostas com a clareza que seria para desejar, e envolvem pontos extremamente duvidosos.

2. Escoamento mensal

O primeiro desses pontos a discutir é o seguinte: Qual deverá ser a duração dos períodos a que se referem os valores do coeficiente de escoamento a determinar? Seria, sem dúvida, da maior utilidade obter valores correspondentes a períodos curtos, se esses valores proporcionassem uma base segura de cálculo. Durante um período longo, como o ano, a variação do valor do coeficiente de escoamento é muito grande. Um exemplo, escolhido ao acaso, confirma o que acaba de ser dito. Na bacia hidrográfica da ribeira do Orne, em França, obtiveram-se, em 16 anos de observações, os seguintes valores médios:

TABELA I

Meses	Alturas pluviométricas mm.	Volúmenes de água pluvial $10^6 \times m. c.$	Volúmenes de água escoada $10^6 \times m. c.$	Coefficientes de escoamento
I.....	75	87.2	62.6	0.72
II.....	65	75.6	72.6	0.96
III.....	74	86.0	75.0	0.87
IV.....	69	80.2	44.1	0.55
V.....	76	88.4	39.1	0.36
VI.....	72	83.7	21.5	0.26
VII.....	76	88.4	16.2	0.14
VIII.....	66	76.7	8.0	0.11
IX.....	62	72.1	6.0	0.08
X.....	102	118.6	13.4	0.11
XI.....	92	107.0	58.1	0.54
XII.....	95	110.5	61.6	0.55

Coefficiente de escoamento médio anual = 0.44

P. LÉVY-SALVADOR /1/, que cita este exemplo, nota que o valor do coeficiente de escoamento que corresponde ao ano considerado em conjunto é um número que pouco significa se se quiser definir a percentagem de água escoada durante um período mais curto, como o mês. À primeira vista se reconhece que são muito elevados os desvios dos coeficientes mensais em relação ao coeficiente médio, 0.44; o desvio mínimo é de 18 % (Abril); o máximo é de 118 % (Fevereiro). O coeficiente de variabilidade da distribuição eleva-se a 70.3 %, o que indica claramente que o valor determinado para a média dificilmente poderá ser utilizado para caracterizar as sub-divisões do ano. LÉVY-SALVADOR vai até ao ponto de afirmar que «... seria um erro grave aplicar ao ano um coeficiente obtido dividindo o caudal total anual pelo volume total de chuva recebido pela bacia durante o mesmo ano... Só são para considerar os coeficientes mensais».

R. B. BUCKLEY /12/, seguindo esta ordem de ideias, observa que «a mesma precipitação anual não produz o mesmo escoamento, e a razão deste facto» (nas bacias hidrográficas da Índia, a que particularmente se refere) «é a distribuição da chuva não ser idêntica durante o Outono. Assim, se em dois anos com igual altura pluviométrica total durante a época da monção a precipitação ocorre, num dos anos principalmente em Junho e Julho, e no outro principalmente em Agosto e Setembro, o escoamento total será maior no segundo ano... Ou ainda, se, em dois anos nessas condições, a precipitação se distribue, num deles por chuvadas ligeiras e regularmente distanciadas no decurso da estação húmida, e no outro por intensos aguaceiros, o escoamento será maior no segundo caso... Daí resulta que, para a avaliação do escoamento ter um certo rigor, é necessário que se baseie na análise das precipitações mensais, ou até das que ocorrem durante períodos mais curtos».

Sucede, infelizmente, que é extremamente difícil, e provavelmente impossível em muitos casos, realizar o que as autoridades que acabam de ser citadas aconselham. O cálculo dos coeficientes de escoamento relativos aos diversos meses é muito pouco elucidativo, e conduz a resultados discordantes, a ponto de não se reconhecer a existência de relação directa entre precipitação pluvial e escoamento, quando referidos uma e outro a períodos de um mês. É vulgar, para o mesmo mês, a altura pluviométrica apresentar, de ano para ano, desvios que vão de 5 % a 200 %, e com frequência a uma maior quantidade de chuva corresponde um escoamento menor. Por isso, e atendendo a que, como observa A. MEYER /22/, é extremamente im-

provável que o conjunto de circunstâncias que exerceram influência sobre o escoamento que se verificou num dado mês de determinado ano volte a produzir-se em mês correspondente de outro ano, desiste-se, em regra, de procurar a determinação dos coeficientes de escoamento mensais, e apenas se trata de avaliar o *escoamento médio anual* de uma bacia hidrográfica, e o seu *máximo escoamento anual* provável.

3. Escoamento médio anual. Escoamento superficial e cortical

Para o cálculo do escoamento médio anual, procura-se ordinariamente, recorrendo por vezes a métodos de muito duvidosa eficácia, determinar o coeficiente de escoamento relativo ao período de um ano, e considera-se freqüentemente o valor obtido como uma constante, que não experimenta variações de ano para ano.

Os conceitos que acabam de ser indicados são muito discutíveis, e pode-se até afirmar que implicam sérios erros, e uma interpretação dos fenómenos do escoamento que está longe de se adaptar convenientemente à realidade.

O facto que, em primeiro lugar, é preciso pôr em evidência, é que para o escoamento não contribue somente a água que corre sobre o terreno durante a queda das chuvas, ou após ela, mas também a que se infiltrou nos estratos mais ou menos profundos do solo (1) e que estes vão gradualmente cedendo aos cursos de água.

Com efeito, uma quantidade de água pluvial, caída durante um determinado período sobre uma dada superfície de bacia hidrográfica, divide-se nas seguintes fracções:

- 1) A parte que *cai directamente* sobre os cursos de água da bacia;
- 2) A parte que é *interceptada* pelas fôlhas das árvores, arbustos e outra vegetação. Esta parte evapora-se na sua quasi totalidade

(1) Convém nolar que se designa por *solo* o conjunto de camadas, ou *horizontes*, por cujos poros a água pode circular, e que assenta sobre uma camada impermeável, ou muito pouco permeável, em geral uma camada rochosa não desagregada.

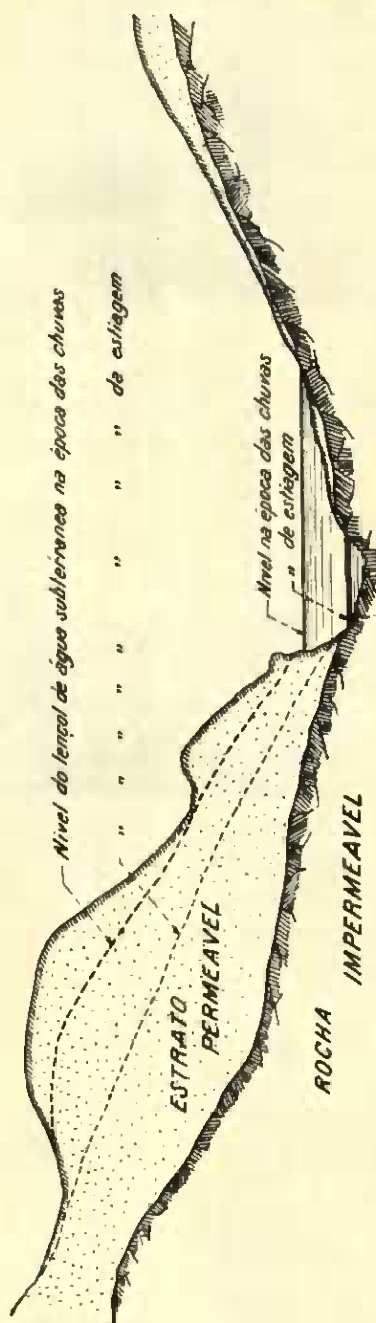


FIG. 1

antes de atingir o terreno, de modo que não exerce influência sobre o caudal dos cursos de água;

3) A parte que *escorre superficialmente*. A influência desta fracção é notável durante e após a queda das chuvas suficientemente abundantes e intensas; formam-se, nestas condições, sobre toda a superfície da bacia hidrográfica onde a chuva cai, numerosíssimos regatos que deslizam para os talvégues, podendo produzir-se cheias se as chuvas forem muito quantiosas e prolongadas;

4) A parte que *abastece o lençol de água subterrânea*. É a que exerce maior influência sobre o regime dos cursos de água não torrenciais, podendo até dizer-se que, se um curso de água é perene, é porque há na sua bacia uma abundante reserva de água contida nos estratos do terreno;

5) A parte que *se infiltra* para os horizontes situados a grande profundidade, ou penetra nas camadas rochosas sobre que o solo assenta. Esta parcela perde-se, em geral, completamente, podendo porém, em alguns casos, haver recuperação de uma certa quantidade desta água, conduzida, por intermédio de fontes, à superfície do terreno, ou recolhida nos estratos próximos dela e situados acima da infra-estrutura rochosa.

6) A parte que *se perde por evaporação*, ou pelas plantas, ou da superfície do terreno, ou dos estratos do solo, ou ainda das superfícies de água que existam na bacia, e que não leva por isso qualquer contribuição ao escoamento.

Não tomando em consideração as fracções 1), 2) e 5), cuja influência no escoamento é, na generalidade dos casos, de reduzida importância, pode-se pois dizer que a chuva que cai dentro do perímetro de uma bacia hidrográfica e contribue para o escoamento se decompõe em duas partes: uma que escorre à superfície do terreno; outra que é absorvida pelos estratos do solo. Ambas estas quantidades de água se podem encaminhar para o leito do curso que a bacia abastece, mas movem-se com velocidades muito diferentes, e atingem o referido leito em épocas que podem ser bastante afastadas. Por esta razão, os engenheiros Ingêleses e Americanos consideram o escoamento dividido em *surface flow* e *seepage flow*. O silvicultor Italiano DE HORATIIS /4/ denomina estas parcelas *escoamento superficial* e *escoamento cortical*, designações que se adoptam para facilitar a exposição.

O que acaba de ser indicado constitue a explicação do facto de se obterem por vezes—sobretudo no caso de períodos de um mês, ou de uma estação do ano—valores do coeficiente de escoamento

superiores à unidade. Tal facto resulta de que, num dado período, à água da chuva que escorre à superfície do solo *durante esse período* se juntou água precipitada *durante um período anterior*, e que se deslocou lentamente através das camadas permeáveis ou esteve retida nestas e só foi libertada a partir de determinada ocasião: é o que nomeiadamente sucede (Fig. 1) quando o nível da superfície da água no curso desce abaixo da cota do plano superior do lençol de água nos estratos de terreno adjacentes, circunstância que com frequência ocorre nos rios portugueses, e donde resulta que à muito reduzida altura pluviométrica que durante essa época se regista corresponde um elevado valor do coeficiente de escoamento.

Os dados seguintes permitem formar-se uma ideia acêrca da importância que pode assumir, para o regime de um curso de água, a contribuição dos estratos de terreno marginaes. J. I. CRAIG /5/ comparou os valores do caudal do Nilo, medido em Khartoum e Sarras, nos dias 3'a a 9 de Abril de 1906, e achou que o caudal registado em Khartoum era superior em 47 metros cúbicos por segundo, em média, ao registado em Sarras, situada 1480 quilómetros a jusante. A perda de água por evaporação entre os dois pontos foi computada em 246 m. c. por segundo; por conseguinte o escoamento dos estratos porosos do solo para o rio elevou-se a 199 m. c. por segundo, ou 133 litros por segundo e por quilómetro. Sendo o caudal médio, no troço do Nilo considerado, de 845 m. c. s., verifica-se que a quota-parte dêste caudal fornecida pelo escoamento cortical foi, no referido período, de 23.5 %, aproximadamente.

PACORET /8/, um dos poucos autores Franceses que aludem ao fraccionamento do escoamento, refere-se a êle nos seguintes termos:

«Em algumas épocas do ano, as bacias recebem precipitações que não podem absorver, e que se traduzem por um escoamento superficial abundante dos respectivos emissários. Noutros períodos, os cursos das bacias são unicamente alimentados pelas reservas de água subterrânea que nelas se constituem... Quanto mais lentamente a bacia cede aos seus cursos a água pluvial que armazenou nos estratos do solo, tanto maior é o seu poder regulador. Assim, as bacias constituídas por formações impermeáveis lançam, logo após a queda das chuvas, as águas destas nos emissários, que engrossam rapidamente, para, terminadas as chuvas, secarem em pouco tempo os seus leitos; ao passo que, se os terrenos da bacia forem permeáveis, e as suas vertentes revestidas de vegetação, as águas são retardadas, absorvidas, e entregues gradualmente aos cursos de água, de modo que o

caudal destes só lentamente aumenta. Além disso, as nascentes restituem aos emissários, durante o intervalo entre as chuvas, água captada na ocasião em que elas caíram».

W. P. CREAGER /6/ observa que «... a capacidade do solo de uma bacia para absorver água de chuva e a entregar aos emissários, semanas ou meses mais tarde, sob a forma de escoamento cortical (*seepage*) é a influência predominante na distribuição do escoamento...» e cita o exemplo seguinte: O Spring Creek e o Bold Eagle Creek, na Pennsylvania, têm bacias hidrográficas contíguas, e de áreas aproximadamente iguais. O solo da bacia do Spring Creek é muito permeável, e constitui um excelente reservatório; o da bacia do Bold Eagle Creek tem, pelo contrário, más condições de armazenamento. Durante a época de estiagem (Setembro a Janeiro) notaram-se as variações do coeficiente de escoamento que constam da TABELA II:

TABELA II

Meses	Spring Creek Área da bacia 375 km. q.		Bold Eagle Creek Área da bacia 360 km. q.	
	Volumes de água pluvial em litros por km. q.	Coeficiente de escoamento	Volumes de água pluvial em litros por km. q.	Coeficiente de escoamento
IX.....	13.3	9.71	2.9	0.14
X.....	13.4	0.60	0.4	0.02
XI.....	14.0	1.18	0.1	0.09
XII.....	13.6	0.45	2.4	0.08
I.....	18.4	0.45	29.0	0.68

Nota-se que as condições do escoamento são melhores na bacia do Spring Creek, onde o coeficiente de escoamento se manteve constante em Dezembro e Janeiro, ao passo que na bacia de Bold Eagle Creek, onde caiu a mesma quantidade de chuva durante esses dois meses, o coeficiente de escoamento variou de 0.08 para 0.68.

As considerações precedentes indicam que o conceito que define o escoamento como uma percentagem da chuva é fundamentalmente defeituoso. O Prof. D. W. MEAD /7/ apresenta com clareza a questão, notando que «... há uma certa relação entre chuva e es-

coamento, mas não se verifica que a quantidade de água escoada aumente proporcionalmente à quantidade de água precipitada (no mesmo período e na mesma bacia hidrográfica) a não ser talvez em certas épocas, como o princípio da Primavera, em que as condições são tais que as exigências da evaporação e da infiltração se reduzem a pouco, e quasi toda a água pluvial caída escorre à superfície do solo. Durante o resto do ano, o escoamento poderá variar ao mesmo tempo que varia a altura pluviométrica, mas em regra as taxas de variação são muito diferentes, e em muitos casos a chuva caída é inteiramente absorvida pelos estratos do terreno ou interceptada pela vegetação e não chega a ter influência no escoamento, que é exclusivamente fornecido pela água armazenada no solo, à custa de chuvas anteriores. Se assim suceder, é óbvio que o escoamento é completamente independente das últimas chuvas que tenham ocorrido».

É por este motivo que a tendência actual dos engenheiros Americanos é para considerar o escoamento, não como uma *percentagem*, mas como um *resíduo*, isto é, como a quantidade de água que fica disponível quando da precipitação pluvial se deduzem as perdas por evaporação (física e fisiológica) e por infiltração profunda. Este conceito é certamente mais lógico do que o do coeficiente de escoamento. Não elimina, porém, a dificuldade que resulta do facto de se terem de tomar em linha de conta, durante um período, quantidades de água escoada provenientes de precipitações ocorridas em períodos diferentes, como já se acentuou.

Desta circunstância, associada provavelmente a muitas outras, deriva também o facto de ser muito variável, de ano para ano, o valor do coeficiente de escoamento médio anual. A maioria dos engenheiros que se ocupam do estudo de bacias hidrográficas, uma vez atribuído um valor a este coeficiente, consideram-no aplicável a qualquer ano, isto é, admitem que é constante a percentagem de água pluvial que aflue aos cursos de água de uma bacia, sejam quais forem as circunstâncias meteorológicas que prevaleceram durante o ano de que se trata, e durante o ano, ou anos, anteriores a esse. Ora os factos demonstram, sempre que se procede a medições directas, que essa constância do valor do coeficiente de escoamento anual se não verifica, como exemplificam os dados relativos à bacia da albufeira de Cuyamaca, na Califórnia, citados por F. S. HYDE /21/ e que constam da TABELA III, e também os obtidos na bacia do Sorraia, que noutro lugar se mencionam.

É duvidoso se haverá um grau apreciável de correlação entre

valores do coeficiente de escoamento referentes a diversos anos e valores das alturas pluviométricas correspondentes a esses mesmos anos; mas é indiscutível que, se o escoamento for avaliado como uma percentagem da precipitação pluvial do ano a que diz respeito, essa percentagem é variável entre limites bastante afastados.

TABELA III

ALTURA PLUVIOMÉTRICA E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DA ALBUFEIRA DE CUYAMACA		
Anos	Altura pluviométrica mm.	Coeficiente de escoamento
1888.....	61	0,217
1889.....	134	0,179
1890.....	160	0,168
1891.....	165	0,202
1892.....	108	0,206
1893.....	105	0,168
1894.....	65	0,139
1895.....	148	0,333
1896... ..	67	0,074

4. Factores que influem no escoamento superficial

Para examinar em conjunto a questão das relações entre alturas pluviométricas e caudais dos cursos de água, convém procurar descriminar os factores, pelo menos os principais, que nessas relações intervêm, e investigar o que for possível acerca da sua interdependência. Abordando a questão sob o seu aspecto de maior generalidade, afigura-se lógico admitir que os factores que actuam sobre o escoamento superficial são sobretudo as *características físicas de bacia hidrográfica* e o *quantitativo e modo como se operam as precipitações pluviais* (Fig. 2).

As características físicas da bacia hidrográfica que exercem mais marcada influência sobre o escoamento superficial são a *configuração topográfica do terreno*, as *condições geológicas do solo*, a ex-

FACTORES QUE INFLUEM NO ESCOAMENTO

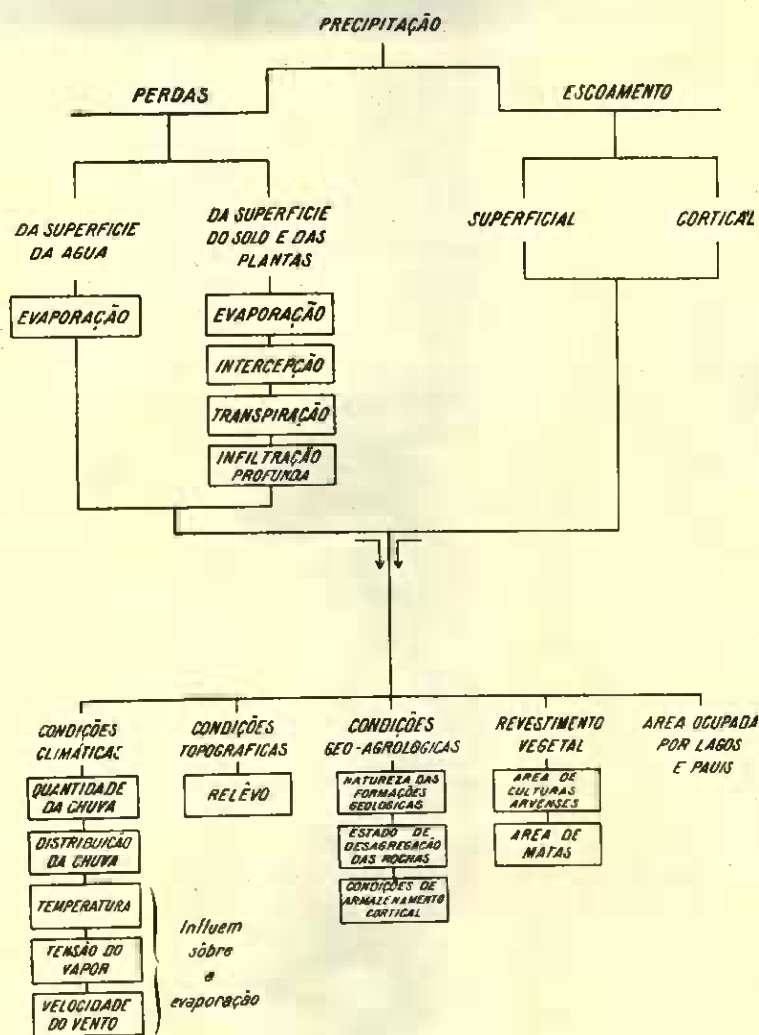


FIG. 2

lensão e carácter do revestimento vegetal e a área ocupada por lagos e zonas apauladas.

5. Condições topográficas

O *relêvo* de uma bacia hidrográfica parece influir de dois modos sobre o escoamento superficial que nela se efectua: indirecta-

mente, porque as condições climáticas estão, numa larga parte, relacionadas com esse relevo; e directamente, porque, se os declives forem rápidos, a maior velocidade com que a água corre à superfície do solo reduz a oportunidade para a evaporação e para a infiltração, e ocasiona aumento da quota-parte de água que se escoar sobre o terreno.

O diagrama da Fig. 3, devido a F. H. NEWELL [9], indica, de modo geral, como a influência directa das condições topográficas se

Altura pluviométrica anual média em mm.

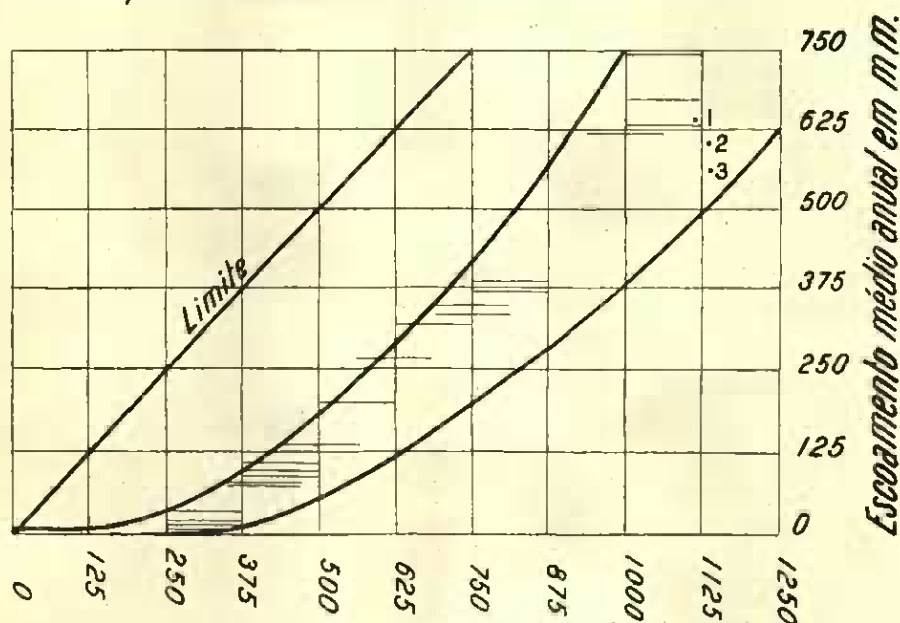


FIG. 3

faz sentir sobre o escoamento superficial. A linha oblíqua marca um limite, que corresponde ao caso em que toda a chuva que cai sobre uma superfície se escoar, como, praticamente, acontece no caso de um telhado de ponto bastante grande; a linha horizontal marca um outro limite, que corresponde ao caso de não haver escoamento algum. Entre estas rectas acham-se duas curvas hipotéticas, correspondendo a inferior às condições que se realizam numa bacia hidrográfica de vales largos e declives suaves (Bacia «A»), à superfície da qual, por consequência, o escoamento é reduzido, e a superior às condições que

habitualmente se verificam nas bacias situadas em zonas montanhosas (Bacia «B»), onde as quantidades de água escoada superficialmente são abundantes.

As duas curvas estão longe de representar com exactidão factos reais: apenas traduzem gráficamente relações muito gerais que se deduziram de séries de observações cujo rigor não pode ser grande. Servem simplesmente, portanto, para concretizar a ideia a expor.

Examinando o diagrama, vê-se que, sendo a altura pluviométrica anual de 1000 mm., por exemplo, um curso de água abastecido por uma bacia do tipo «A» recolherá 375 mm., ao passo que um curso alimentado por uma bacia do tipo «B» receberá 750 mm. Sendo menor a precipitação anual, mais se acentua a diferença entre o volume do escoamento superficial na bacia de declives suaves e na de declives rápidos: Para uma altura pluviométrica anual de 500 mm., o escoamento numa bacia do tipo «A» será de 75 mm., e uma bacia do tipo «B» de 175 mm.; para precipitações anuais de 250 a 375 mm., deixa de haver escoamento superficial nas bacias do primeiro tipo, e diminui até 50 a 100 mm. nas do segundo tipo.

As linhas horizontais que se observam no diagrama correspondem a determinações feitas em cursos de água do Oeste dos Estados Unidos (1) alimentados por bacias de reduzida área. Como as alturas pluviométricas não foram em tais casos medidas com exactidão, adoptou-se uma linha horizontal, em vez de um ponto, para demarcar a extensão provável da variação da altura pluviométrica anual (250 a 375 mm., por exemplo). As ordenadas destas linhas indicam o escoamento superficial médio anual da bacia.

6. Condições geológicas

As condições geológicas, ou antes, as condições geo-agrológicas têm uma influência notável no escoamento superficial, mas raras vezes será possível, sem proceder a medições directas dos caudais escoados, apreciar devidamente essa influência. As indicações facultadas pelas

(1) Os estudos de J. B. LIPPINCOTT e S. G. BENNETT /10/ mostram que, no caso de diversos rios da Califórnia, alimentados por bacias hidrográficas de pequena extensão, há uma notável concordância entre os resultados de medições directas e os que correspondem às curvas teóricas de NEWELL.

cartas geológicas, por mais minuciosas que sejam, não informam quanto ao estado de desagregação, isto é, quanto à proporção em que a rocha se encontra transformada em solo capaz de reter e conduzir água, o que constitui o facto mais importante no que respeita à incorporação da água da chuva no escoamento superficial ou no escoamento cortical, ou ainda, em certos casos, à sua perda para o escoamento.

Dizer-se que uma bacia hidrográfica é *granítica* pouco significa para o efeito da previsão do modo como nela se opera o escoamento; uma bacia em cuja superfície se encontrem extensos afloramentos de granito compacto é provavelmente muito impermeável e quasi todo o escoamento que nela se efectua será superficial; se, porém, o mesmo granito se achar desagregado até uma razoável profundidade, pode constituir um solo muito apto para armazenar água pluvial e capaz de dar passagem a um escoamento cortical quantioso. A indicação de que uma bacia é *calcárea* é, análogamente, deficiente: o calcáreo fendilhado é uma rocha em regra permeável, e, no entanto, um solo derivado desse mesmo calcáreo pode ser muito impermeável.

7. Revestimento vegetal

Toda a espécie de *vegetação*, seja qual for o seu porte, além de interceptar chuva, retarda o movimento da água que se escoia superficialmente, embora esse efeito cesse ao fim de algum tempo, se as chuvas forem violentas e prolongadas. As culturas arvenses absorvem, durante a época de maior actividade vegetativa, uma quantidade considerável de água pluvial, o que reduz o escoamento superficial. As matas têm uma influência bem pronunciada sobre o escoamento, sobretudo sob o ponto de vista da sua regularização, como demonstram, entre outras, as interessantes investigações de A. ENGLER (11), mas só no caso de nelas haver uma *manta* de certa espessura; quando o espaço entre as árvores se encontra nu, a acção da mata sobre o escoamento superficial atenua-se sensivelmente, como se verifica, por exemplo, nas bacias das torrentes da Serra da Louzã.

8. Extensão de lagos e zonas apauladas

O escoamento superficial proveniente de chuvas moderadas é retardado e regularizado, e, dentro de certos limites, reduzido pelos

lagos existentes na bacia, que provocam aumento de perdas de água por evaporação. Os *pauís* e *chaboucos* situados em terreno impermeável, e que por isso conservam a água durante todo o ano, não só agravam as perdas por evaporação física, como determinam uma intensa evaporação fisiológica através da vegetação aquática que nêles se desenvolve, influindo por isso apreciavelmente na quantidade de água que se encaminha para os leitos dos emissários.

9. Quantidade e distribuição das precipitações pluviais

É óbvio que, *em igualdade de todas as outras condições*, a uma maior precipitação pluvial corresponderá maior escoamento superficial; mas o que mais importa considerar, no que se refere às variações dêste, é a *maneira como as chuvas se distribuem*, como já se notou no § 2. Quanto mais curto é o espaço de tempo durante o qual uma chuva abundante cai, tanto maior é a quantidade de água que se escoia superficialmente; por ocasião das chuvas intensas, a água não tem, por assim dizer, tempo para penetrar no solo, e, além disso, a acção mecânica da chuva forte comprime por vezes o terreno, tornando-o, praticamente, impermeável. Por outro lado, se a queda das chuvas se prolongar, o teor de humidade no solo vai-se elevando gradualmente, até ser atingida a saturação; e, continuando a precipitação, o escoamento superficial aumenta de modo considerável. Nos climas tropicais êste fenómeno acentua-se com extraordinária intensidade. BUCKLEY /12/ exemplifica «... o enorme efeito produzido no escoamento pelo estado em que se encontra a bacia hidrográfica...» quanto à humidade contida no solo, com as observações seguintes, feitas na bacia que abastece a Albufeira de Nagpur, na Índia:

«A queda de 55 mm. de chuva em 80 minutos, em Junho, quando o terreno na bacia hidrográfica estava absolutamente sêco e tinha sido recozido pelo sol no período anterior, só fez subir o nível da água na albufeira de uma altura correspondente ao volume de água caído no próprio reservatório: da bacia não veio caudal algum. Durante todo o mês de Junho afluíu ao reservatório menos de 0.20 % da chuva caída na bacia. Em 16 de Setembro do mesmo ano, quando o terreno se encontrava profundamente saturado pela chuva que tinha caído durante 65 dos 89 dias anteriores, uma chuvada de 54 mm. caída em 80 minutos fez afluír à albufeira 98 % da água pluvial pre-

cipitada na bacia. O coeficiente de escoamento relativo ao mês de Setembro atingiu 0.72».

É elucidativa, ainda a este propósito, a TABELA IV, que contém um resumo das observações de BUCKLEY acerca das variações do valor do coeficiente de escoamento com o grau de saturação dos terrenos das bacias hidrográficas da Índia:

TABELA IV

Altura pluviométrica em 24 horas mm.	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO		
	Estado em que se encontrava o terreno na bacia antes da chuva		
	Sêco	Húmido	Encharcado
6.3	0.00	0.00	0.12
12.7	—	0.10	0.14
25.4	0.05	0.14	0.20
50.8	0.10	0.25	0.34
76.2	0.20	0.40	0.55
101.6 ou mais	0.50 a 0.40	0.50 a 0.60	0.70 a 0.80

De um modo geral, pode pois dizer-se que a quantidade de água que se escoia superficialmente varia na razão inversa da extensão do período *sêco* que antecede a precipitação de que ela deriva. KANTHACK /3/, que estudou com atenção este assunto, reconheceu, no caso de algumas bacias hidrográficas da África do Sul, que a influência do período de *seca* anterior a uma precipitação era sensível até um limite de 15 a 20 dias, para além do qual a referida influência se tornava incerta ou inapreciável. Por outras palavras, o solo, excedido êsse limite, encontrava-se nas condições de *secura* correspondentes ao seu máximo poder de absorção.

Reconhece-se assim que o efeito de uma precipitação sobre o escoamento superficial, além de depender da sua intensidade, se relaciona intimamente com as características físicas dos solos da bacia, e portanto com a natureza desses solos. Um solo argiloso e um solo arenoso, por exemplo, comportam-se de modo muito diferente quando sobre eles cai a mesma quantidade de chuva em tempo igual. Nos períodos em que se reduzem consideravelmente as exigências da eva-

poração os solos adquirem, por êsse motivo, tôda a água capilar que podem conter, limitando-se conseqüentemente a sua capacidade para a água gravitacional. Mas essa redução é cêrca de 80 % maior num solo argiloso do que num solo arenoso, e daí resulta que o primeiro é saturado muito mâis rãpidamente do que o segundo, e ocasiona um escoamento superficial abundante. É facto que a capacidade de contenção de humidade dos solos argilosos, tal como se determina no laboratório, atinge valores bastante elevados; mas, nas condições que se verificam no campo, estes solos difficilmente secam, a não ser nas camadas superficiais, e isso explica que a quantidade de água que êles estão em circunstâncias de fixar é em geral muito inferior à que podem reter os solos arenosos.

10. Escoamento cortical. Factores que nêle influem

Visto que, não tomando em linha de conta as perdas por evaporação e infiltração profunda, o escoamento superficial e o escoamento cortical se podem considerar complementares, é lógico esperar que por vezes os factores que actuam sôbre um influam, em sentido contrário, sôbre o outro.

Para que numa bacia haja escoamento cortical abundante, é necessário, por um lado, que o terreno dê fácil passagem à água; e, por outro, que as perdas subseqüentes sejam diminutas. Estas perdas são, às vezes, as que origina a infiltração para estratos porosos situados a grande profundidade; na generalidade dos casos são as que a evaporação ocasiona. D. W. MEAD /7/ cita um caso em que as perdas mencionadas em primeiro lugar atingem considerável importância, comparando os caudais de dois cursos de água do Wisconsin, o Rio Wisconsin e o Rio Rock. O primeiro tem o seu leito aberto em formações de grês muito permeáveis, mas os horizontes inferiores do solo não apresentam condições favoráveis para o escoamento cortical, e limitam-no em profundidade; o segundo corre num vale onde, até à profundidade de 100 metros, há areia e saibros aluviais, pelos quais a água se some, encontrando, em lugar não determinado, saída do perímetro da bacia respectiva. Os caudais médios mensais dos dois rios, em litros por segundo e por quilómetro quadrado de bacia hidrográfica, são os seguintes:

TABELA V

Rios	Meses											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wisconsin.....	—	—	16.9	29.4	20.6	43.4	16.2	11.3	13.8	10.7	8.7	16.5
Rock.....	6.5	5.7	2.5	17.6	11.9	11.4	6.9	4.4	4.6	4.2	4.3	4.7

O exemplo não representa condições que ocorram com frequência; em regra o escoamento cortical aumenta com a *espessura do estrato poroso* onde se efectua, até um limite bastante elevado.

Nas perdas por evaporação da água infiltrada na zona onde se opera o escoamento cortical tem influência predominante a *natureza do solo*. Ainda que os declives à superfície da bacia sejam acentuados, um terreno arenoso profundo não só permite uma infiltração quantiosa; como leva rapidamente a água para fora do alcance da acção capilar que a reconduza às camadas superiores. Um solo argiloso favorece, como se viu, o escoamento superficial, pela facilidade com que se satura; por outro lado, dificilmente se deixa atravessar pela água, e exerce sobre a que se infiltra uma acção enérgica de elevação capilar, trazendo novamente à superfície a humidade e determinando a sua perda por evaporação.

Os *pauis e chaboucos* contribuem para diminuir o escoamento cortical, do mesmo modo que reduzem o superficial. Apenas se exceptuam os charcos que se formam, durante a época das chuvas, em terrenos arenosos, cuja água pode ser, em grande parte, absorvida pelo solo.

Dentre as *condições geológicas*, a que exerce talvez maior influência sobre o escoamento cortical é a existência de assentadas de rochas impermeáveis situadas debaixo dos estratos porosos, com pendor para o lado do curso de água, e aflorando no leito dêste. Em geral o seu efeito faz-se sentir no aumento do escoamento cortical a uma certa distância para montante do local onde afloram. Uma disposição de estratos que tenha como consequência ser derivada uma parte importante do escoamento cortical para uma zona situada fora do perímetro da bacia (o caso do Rio Rock) é, evidentemente, muito desfavorável.

Se a precipitação pluvial fôr insuficiente para conservar o terreno permanentemente húmido, o que é o caso geral, o *modo como a chuva cai* e a sua *intensidade* são os factores que mais largamente influem sobre o escoamento cortical. As chuvas mais eficazes, sob este ponto de vista, são as que ocorrem sob a forma de aguaceiros leves e frequentes na Primavera e no Outono, quando as exigências da evaporação são relativamente moderadas. A chuva de Verão fica às vezes completamente retida nas camadas superiores do solo como água capilar ou perde-se por evaporação, sem que qualquer parcela se adicione ao escoamento cortical.

11. **Apreciação, em conjunto, dos factores que influem no escoamento**

Dada a multiplicidade dos factores que influem sobre o escoamento, quer superficial, quer cortical, e as relações que entre eles existem, torna-se extremamente difícil apreciar o modo como actuam, e a extensão em que actuam esses factores.

KANTHACK [3], no seu esboço de classificação das bacias hidrográficas da África do Sul, toma em consideração o *relevo*, a *vegetação*, a *extensão e natureza das formações rochosas não desagregadas* e a *extensão e espessura dos estratos porosos*, e enumera os Tipos seguintes:

Tipo I. Bacias do Noroeste da Província do Cabo. Zonas áridas graníticas, planas, numa grande parte cobertas de solo arenoso de grão grosso.

Tipo II. Bacias da região do *Karoo*, nas Províncias do Cabo e Estado Livre de Orange. Zonas montanhosas ou de colinas, numa vasta parte impermeáveis, pouco revestidas de solo, que é delegado, e com frequência assenta sobre tufo calcáreos. Vegetação pouco abundante, do tipo peculiar ao *Karoo*. Estratos de rocha não desagregada, de xisto e grés, cortados às vezes por intercalações de dolerite. Nestas bacias é muito diminuto o escoamento cortical.

Tipo III. Bacias da parte Leste do Cabo e Estado Livre, e do Leste do Natal. Terrenos semelhantes, geologicamente, aos anteriores, mas, em consequência de receberem chuva mais abundante e regular, melhor revestidos de vegetação (principalmente ervagens) e com solo de maior espessura. Solo de grão mais fino do que o das bacias do Tipo I.

Tipo IV. Bacias do *veld* superior do Transvaal, da parte não dolomítica, planas, com solos arenosos e absorventes, e completamente cobertos de erva. Poucas árvores.

Tipo V. Bacias do *veld* médio do Transvaal. Formações graníticas. Solos arenosos fundos. Revestimento denso de ervas, arbustos e árvores.

Tipo VI. Bacias dolomíticas do Transvaal e da Bechuanalândia.

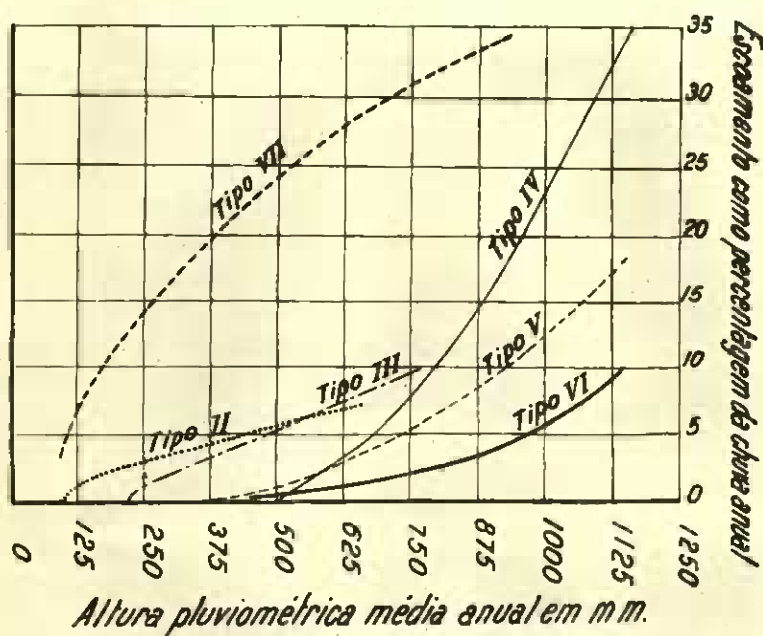


FIG. 4

Zonas planas, bem revestidas de erva. Solo arenoso pouco profundo. Formações rochosas muito fendilhadas.

Tipo VII. Bacias montanhosas da zona litoral do Sul e Leste da Província do Cabo. Regiões de grandes altitudes e escarpas abruptas. Vegetação muito densa.

Na Fig. 4 acham-se representadas as curvas que indicam a relação entre altura pluviométrica anual e escoamento médio anual nas bacias dos diversos tipos, curvas que revelam que a cada grupo de condições corresponde um regime diferente de escoamento. Não está

representada a curva correspondente às bacias do Tipo I, porque nestas o escoamento não chega a ter valor apreciável.

12. Processos de determinação do escoamento médio anual

Pode dizer-se, de um modo geral, que são três os casos em presença dos quais se pode encontrar o engenheiro ao estudar o problema da determinação do escoamento que se opera numa bacia hidrográfica:

1) Existem dados resultantes de medições directas do escoamento, relativos a um certo número de anos, e bem assim uma estatística pluviométrica abrangendo um período igual ou mais extenso. O problema é, neste caso, investigar até que ponto os números de que se dispõe podem servir para caracterizar um período mais longo do que aquele a que as observações se referem.

2) Não há quaisquer dados provenientes de medições directas do escoamento na bacia hidrográfica de que se trata, mas possuem-se elementos suficientes relativos à pluviometria.

3) Não existem resultados de medições directas dos caudais escoados nem registos pluviométricos.

13. Método da medição directa

Para exemplificar este processo, recorre-se aos resultados dos trabalhos efectuados durante os anos agrícolas de 1912-1913 a 1916-1917 na bacia do Sorraia, com o objectivo de reunir elementos para o estudo das obras de rega abrangidas pelo Projecto da Albufeira do Maranhão, na Ribeira de Sêda.

A-fim-de avaliar a quantidade de chuva caída na parte da bacia hidrográfica do Sorraia a montante de Coruche (Fig. 5) foram instalados postos pluviométricos nos seguintes locais: *Alter do Chão, Aviz, Estremoz, Monforte, Portalegre, Vila Fernando, Pavia, Ponte do Sôr e Santa Ana.*

SIR JOHN BENTON /13/ indica, como número mínimo de postos pluviométricos a estabelecer, para apreciar com razoável aproxi-

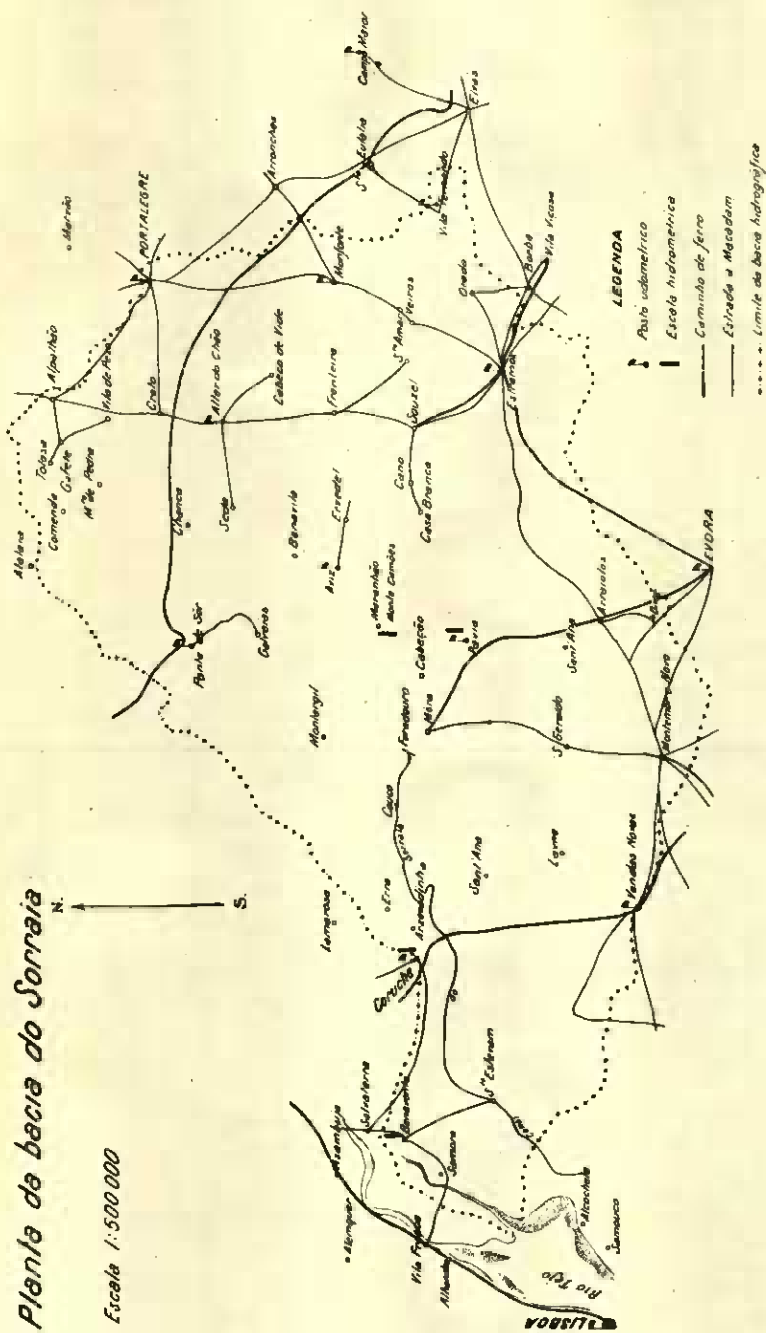


FIG. 5

mação a quantidade de chuva caída numa bacia hidrográfica, o seguinte:

Área da bacia (km. q.)	Número de postos pluviométricos
Até 75.....	1
75 a 150.....	2
150 a 300.....	3
300 a 500.....	4
500 a 750.....	5
750 a 1000.....	6

A área da bacia do Sorraia, na parte considerada, é de 5800 km. q. Se se aceitar o critério de BENTON, o número de postos instalados (nove) é talvez um pouco baixo.

No segundo ano de trabalhos (1913-1914) as observações pluviométricas, a que se procedeu diariamente, conduziram aos resultados consignados na TABELA VI:

TABELA VI

ALTURA PLUVIOMÉTRICA EM MM. NO ANO AGRÍCOLA 1913-1914											
Meses	POSTOS										
	Alter	Aviz	Extremoz	Monforte	Portalegre	Vila Fernando	Pavia	Ponte do Sôr	St.ª Ana	TOTAL	MÉDIA
IX.....	37.4	69.8	30.0	0.0	83.7	59.0	57.3	94.2	108.4	536.2	67.0
X.....	95.7	82.5	83.0	114.9	206.1	106.2	141.3	212.6	137.3	1179.6	131.1
XI.....	19.2	24.8	72.0	64.6	61.4	39.0	67.5	47.7	95.8	492.0	54.7
XII.....	6.6	19.5	45.0	24.6	20.8	24.6	19.4	29.1	22.1	211.7	23.5
I.....	17.5	31.6	24.0	43.0	35.3	43.1	50.9	37.9	34.8	318.1	35.3
II.....	44.3	58.5	162.0	100.0	125.6	108.2	128.9	154.8	186.5	1068.8	118.8
III.....	20.8	42.2	89.0	35.8	22.7	40.1	26.9	37.0	16.4	330.9	36.8
IV.....	11.8	69.2	65.0	31.3	0.0	61.7	77.7	72.3	39.3	428.3	53.5
V.....	3.9	21.5	3.0	8.8	0.0	3.0	0.0	142.5	6.8	189.5	27.1
VI.....	10.8	13.0	7.0	18.6	0.0	0.0	12.2	27.7	15.6	104.9	14.9
VII.....	4.3	0.0	7.0	7.8	0.0	3.6	2.4	4.3	2.1	31.5	4.5
VIII. ...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.8	0.4

Nas diversas estações do ano, as alturas pluviométricas foram pois as seguintes:

Outono.....	252.8 mm.
Inverno.....	177.6 mm.
Primavera.....	117.4 mm.
Verão.....	19.8 mm.

A altura pluviométrica correspondente ao ano agrícola 1913-1914 foi por conseguinte de 567.6 mm.

As quantidades de água pluvial caídas na bacia hidrográfica durante cada um dos períodos considerados obtém-se multiplicando as alturas pluviométricas médias registadas pelos diversos postos durante o mesmo período pela área total da bacia (5800 km. q.) (1).

(1) Pode-se observar que, procedendo d'este modo, não se atribue o devido *pêso* às médias das alturas pluviométricas registadas nos vários postos. Convém, com efeito, dividir a bacia hidrográfica que se estuda em zonas, cada uma das quais corresponda a um posto, e à qual se apliquem as observações feitas neste. Sendo S a área total da bacia, s_1, s_2, \dots, s_n as áreas das zonas em que ela se divide, e h_1, h_2, \dots, h_n as alturas pluviométricas médias registadas nessas zonas parciais, a altura pluviométrica média h_m correspondente a toda a bacia será dada pela expressão

$$h_m = \frac{s_1 \cdot h_1 + s_2 \cdot h_2 + \dots + s_n \cdot h_n}{S} = \frac{\sum s \cdot h}{S}$$

A divisão em zonas deverá obedecer às características de ordem topográfica da bacia. Se essas características forem bastante uniformes, adopta-se geralmente o método de THEISSEN (14), exemplificado na Fig. 6, para a delimitação das superfícies dominadas pelos postos: Dentro do perímetro da bacia instalaram-se postos pluviométricos nos pontos A, B, C, D e E; unem-se estes pontos por linhas rectas e levantam-se perpendiculares às bases dos triângulos assim formados, que dividam ao meio essas bases: ficam d'este modo demarcadas as superfícies (a), (b), (c), (d) e (e) adstritas a cada um dos postos.

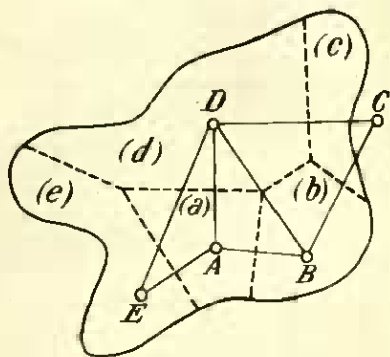


FIG. 6

Para exprimir essas quantidades de modo a torná-las facilmente comparáveis com os caudais que circulam no leito do curso de água durante os períodos correspondentes, deverão elas ser divididas pelo número de unidades de tempo contidas nos referidos períodos. Assim, para o caso de Setembro de 1913, obtem-se o valor

$$\frac{0.067 \times 5800 \times 10^6}{30 \times 24 \times 60 \times 60} = 149.9 \text{ m. c. por segundo,}$$

e pelo mesmo processo se determinam os outros valores que figuram na TABELA XI.

Para o cálculo dos caudais que circularam no Sorraia durante os diversos períodos do ano agrícola 1913-1914 partiu-se dos resultados das observações feitas numa escala hidrométrica instalada em frente de Coruche, que constam da TABELA VII.

A-fim-de determinar a lei da variação do caudal com a altura hidrométrica, procedeu-se a cinco medições de caudal no Sorraia, numa secção transversal em frente de Coruche, cujos resultados são adiante indicados, bem como as alturas hidrométricas correspondentes registadas na escala:

Altura hidrométrica H (m.)	Caudal Q (m. c. s.)
0.03	0.378
0.31	5.848
0.43	8.615
0.49	11.055
1.55	87.870

Reconheceu-se que a *curva característica* era bem representada pelas equações

$$Q = 30.3 (H + 0.024)^{3/2}$$

para valores de H inferiores a 0.48 m., e

$$Q = (39.35 + 6.5 H) (H - 0.08)^{3/2}$$

para valores de H superiores a 0.48 m. e inferiores a 2.40 m.

TABELA VII

ALTURAS HIDROMÉTRICAS, EM M., REGISTRADAS NA ESCALA DE CORUCHE DURANTE O ANO AGRÍCOLA 1913-1914												
Dia	MESES											
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	0.01	0.14	1.82	0.54	0.50	0.58	1.55	0.65	0.63	0.26	0.25	0.05
2	0.01	0.12	1.65	0.52	0.50	0.55	1.35	0.62	0.55	0.25	0.24	0.05
3	0.02	0.10	1.25	0.50	0.49	0.54	1.24	0.63	0.50	0.25	0.26	0.04
4	0.04	0.10	1.02	0.50	0.48	0.52	1.15	0.67	0.47	0.23	0.23	0.06
5	0.04	0.14	0.90	0.49	0.48	0.52	1.09	0.59	0.44	0.22	0.22	0.08
6	0.05	0.13	0.88	0.49	0.45	0.68	1.05	0.57	0.43	0.22	0.21	0.07
7	0.04	0.18	0.91	0.48	0.43	0.95	1.02	0.56	0.41	0.21	0.19	0.07
8	0.04	0.17	0.89	0.48	0.42	0.79	0.98	0.54	0.40	0.21	0.18	0.08
9	0.04	0.15	0.72	0.48	0.42	1.40	0.98	0.52	0.39	0.22	0.18	0.07
10	0.09	0.15	0.85	0.47	0.40	1.95	1.20	0.50	0.39	0.22	0.16	0.07
11	0.08	0.15	1.31	0.46	0.41	1.43	1.65	0.48	0.38	0.23	0.12	0.07
12	0.18	0.15	1.31	0.45	0.41	1.60	1.21	0.49	0.37	0.23	0.10	0.05
13	0.17	0.14	1.88	0.45	0.41	1.89	1.02	0.50	0.36	0.24	0.13	6.06
14	0.18	0.13	1.64	0.44	0.42	1.36	0.95	0.90	0.35	0.25	0.12	0.05
15	0.13	0.12	1.26	0.43	0.43	1.18	0.90	0.12	0.35	0.25	0.09	0.05
16	0.17	0.11	1.15	0.43	0.45	1.10	0.84	0.93	0.34	0.25	0.09	0.05
17	0.16	0.10	1.10	0.41	0.46	1.39	0.81	0.83	0.34	0.24	0.07	0.06
18	0.15	0.10	0.90	0.41	0.55	2.04	0.80	0.72	0.33	0.23	0.06	0.05
19	0.13	0.10	0.85	0.40	0.59	1.52	0.77	0.65	0.46	0.22	0.08	0.04
20	0.12	0.12	0.79	0.40	0.94	1.28	0.79	0.62	0.39	0.22	0.06	0.05
21	0.12	0.17	0.75	0.39	0.98	1.25	0.81	0.59	0.37	0.21	0.05	0.04
22	0.10	0.97	0.72	0.45	1.48	2.17	0.82	0.56	0.35	0.20	0.06	0.04
23	0.09	0.63	0.69	0.44	1.35	2.80	0.80	0.54	0.34	0.19	0.05	0.05
24	0.08	0.68	0.67	0.52	1.02	3.20	0.75	0.52	0.31	0.19	0.05	0.05
25	0.08	0.69	0.66	0.60	0.85	2.28	0.77	0.50	0.31	0.22	0.05	0.05
26	0.07	0.66	0.65	0.59	0.80	1.89	0.80	0.48	0.31	0.25	0.05	0.04
27	0.07	0.57	0.61	0.57	0.72	1.68	0.92	0.45	0.31	0.25	0.07	0.05
28	0.07	0.60	0.59	0.54	0.67	1.55	0.85	0.94	0.30	0.26	0.05	0.04
29	0.08	1.33	0.57	0.53	0.65	—	0.68	0.89	0.28	0.26	0.06	0.05
30	0.17	1.22	0.55	0.51	0.62	—	0.74	0.75	0.27	0.25	0.05	0.08
31	—	1.11	—	0.52	0.60	—	0.69	—	0.26	—	0.05	0.06

Sendo a altura hidrométrica superior a 2.40 m., não era possível avaliar o caudal com razoável rigor, mas, tomando como certa a determinação do caudal de cheia em 1902, de 1640 m. c. s., correspondente a uma altura hidrométrica de 3.55 m., obteve-se, por interpolação linear, uma terceira equação

$$Q = 194 + 1257 (H - 2.40).$$

Aplicando estas três equações, calcularam-se os caudais diários do Sorraia, sendo os resultados dêste cálculo indicados na TABELA VIII.

TABELA VIII

CAUDAIS, EM M. C. S., MEDIDOS DIRECTAMENTE, OU AVALIADOS POR MEIO DE CURVA CARACTERÍSTICA NUMA SECÇÃO TRANSVERSAL DO SORRAIA EM FRENTE DE CORUCHE
ANO AGRÍCOLA 1913-1914

Dia	Meses											
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	0.10	2.00	117.50	13.50	11.70	15.35	88.15	18.80	17.80	4.60	4.35	0.60
2	0.20	1.60	98.60	12.65	11.70	14.00	68.95	17.25	14.00	4.35	4.10	0.60
3	0.30	1.30	60.15	11.70	11.25	13.50	59.30	17.80	11.70	4.35	4.60	0.50
4	0.50	1.30	41.93	11.70	10.80	12.65	51.90	19.85	10.50	3.90	3.90	0.70
5	0.50	2.00	33.60	11.25	10.80	12.65	47.15	15.75	9.60	3.65	3.65	1.00
6	0.60	2.20	32.30	11.25	9.90	20.40	44.20	14.90	3.90	3.65	3.40	0.85
7	0.50	2.80	34.30	10.80	9.30	37.00	41.95	14.45	8.70	3.40	3.00	0.85
8	0.50	2.60	32.95	10.80	9.00	26.65	39.10	13.50	8.40	3.40	2.80	1.00
9	0.50	2.20	22.60	10.80	9.00	73.50	39.10	12.65	8.10	3.65	2.80	0.85
10	1.15	2.20	30.40	10.50	8.40	135.10	55.85	11.70	8.10	3.65	2.40	0.85
11	1.00	2.20	65.35	10.20	8.70	76.35	98.60	10.80	7.80	3.90	1.60	0.85
12	2.80	2.20	74.45	9.90	8.70	93.25	56.75	11.25	7.50	3.90	1.30	0.60
13	2.60	2.00	124.60	9.90	8.70	125.80	41.95	11.70	7.20	4.10	1.80	0.70
14	2.80	1.80	97.50	9.60	9.00	69.85	37.00	33.60	6.90	4.35	1.60	0.60
15	2.80	1.60	61.00	9.30	9.30	54.30	33.60	49.50	6.90	4.35	1.15	0.60
16	2.60	1.45	51.90	9.30	9.90	47.90	29.80	35.65	6.65	4.35	1.15	0.60
17	2.40	1.30	41.20	8.70	10.20	72.60	27.85	29.15	6.65	4.10	0.85	0.70
18	2.20	1.30	33.60	8.70	14.00	144.40	27.25	22.60	6.40	3.90	0.70	0.60
19	1.80	1.30	30.40	8.40	15.75	85.15	25.50	18.80	10.20	3.65	1.00	0.50
20	1.60	1.60	26.65	8.40	26.35	62.75	26.65	17.25	8.10	3.65	0.70	0.60
21	1.60	2.60	24.35	8.10	39.10	60.15	27.85	15.75	7.50	3.40	0.60	0.50
22	1.30	38.40	22.60	9.30	81.10	161.60	28.50	14.45	6.90	3.20	0.70	0.50
23	1.15	17.80	20.90	9.60	68.95	697.00	27.25	13.50	6.65	3.00	0.60	0.60
24	1.00	20.40	19.85	12.65	41.95	1200.00	24.35	12.65	5.85	3.00	0.60	0.60
25	1.00	20.90	19.35	16.20	30.40	174.70	25.50	11.70	5.85	3.65	0.60	0.60
26	0.85	19.35	18.80	15.75	27.25	125.80	27.25	10.80	5.85	4.35	0.60	0.50
27	0.85	14.90	16.35	14.90	22.60	101.80	34.95	9.90	5.85	4.35	0.85	0.60
28	0.85	16.20	15.75	13.50	19.85	88.15	30.40	36.35	5.60	4.60	0.60	0.50
29	1.00	68.95	14.90	13.05	18.80	—	26.05	32.95	5.05	4.60	0.70	0.60
30	2.60	57.60	14.00	12.20	17.25	—	23.75	24.35	4.80	4.35	0.60	1.00
31	—	48.70	—	12.65	16.20	—	20.90	—	4.60	—	0.60	0.70

Os valores que constam da tabela precedente permitem o cálculo dos caudais médios correspondentes a períodos de 10 dias:

TABELA IX

Meses	Caudal médio (m. c. s.)		
	1. ^a Década	2. ^a Década	3. ^a Década
IX.....	0.50	2.25	1.20
X.....	2.00	1.65	29.60
XI.....	50.45	60.65	18.70
XII.....	11.50	9.25	12.55
I.....	8.20	13.05	38.35
II.....	55.90	83.25	326.00
III.....	33.55	40.50	27.00
IV.....	15.65	24.05	18.25
V.....	10.60	7.45	5.85
VI.....	3.85	4.00	3.85
VII.....	3.50	1.20	0.65
VIII.....	0.80	0.65	0.60

À custa dos caudais médios correspondentes às décadas obtém-se os que correspondem aos diferentes meses, e, análogamente, se determinam os caudais médios para as diversas estações e para o ano considerado em conjunto:

TABELA X

Meses	Caudal médio (m. c. s.)	Estações	Caudal médio (m. c. s.)	Caudal médio (m. c. s.) referente ao ano 1913-1914
IX	1.30	Outono	18.70	23.80
X	11.70			
XI	43.25			
XII	11.15	Inverno	52.70	
I	19.20			
II	135.75			
III	39.90	Primavera	22.40	
IV	19.30			
V	7.90			
VI	3.90	Verão	2.10	
VII	1.75			
VIII	0.65			

Pode-se agora determinar a relação que existe entre o caudal que a chuva produziria, se não houvesse perdas, em cada mês, em cada estação, ou durante o ano inteiro, com o caudal que efectivamente circula no leito do curso de água no período correspondente (admitindo que os caudais cujos valores figuram na TABELA X se podem considerar constantes durante a época a que dizem respeito) e assim se obtém os coeficientes de escoamento para o ano e para as suas sub-divisões:

TABELA XI

Meses	Caudal que a chuva produziria se não houvesse perdas (m. c. s.)	Caudal efectivo escoado (m. c. s.)	Coefficiente de escoamento
IX	149.9	1.30	0.009
X	283.8	11.70	0.041
XI	128.5	43.25	0.337
XII	50.9	11.15	0.219
I	76.4	19.20	0.251
II	284.8	135.75	0.477
III	79.7	39.90	0.500
IV	119.7	19.30	0.161
V	58.7	7.90	0.135
VI	33.6	3.90	0.116
VII	9.1	1.75	0.192
VIII	0.9	0.65	0.734
Estações			
Outono.....	186.3	18.70	0.100
Inverno.....	132.3	52.70	0.398
Primavera...	85.6	22.40	0.261
Verão.....	14.3	2.10	0.147
Ano 1913-1914	104.4	23.80	0.228

Considerando, não apenas o ano 1913-1914, mas os cinco anos agrícolas durante os quais se efectuaram observações, obtem-se os valores consignados na TABELA XII, que a Fig. 7 traduz gráficamente.

TABELA XII

CAUDAIS QUE A CHUVA PRODUZIRIA SE NÃO HOUVESSE PERDAS (1) EM M. C. S., CAUDAIS ESCOADOS (2) EM M. C. S.,
E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (3)
CORRESPONDENTES AOS ANOS AGRÍCOLAS 1912-1913 A 1916-1917

Meses	1912-1913			1913-1914			1914-1915			1915-1916			1916-1917		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
IX.....	42.5	1.50	0.038	149.9	1.30	0.009	17.2	1.40	0.081	21.5	2.95	0.140	52.1	3.95	0.076
X.....	140.5	3.85	0.027	283.8	11.70	0.041	161.9	2.85	0.017	55.4	3.95	0.071	25.1	5.85	0.253
XI.....	31.5	3.45	0.110	128.5	43.25	0.337	103.6	11.65	0.112	217.1	7.30	0.035	245.9	17.40	0.070
XII.....	40.7	4.10	0.100	50.9	11.15	0.219	360.0	104.25	0.289	218.4	55.45	0.254	502.0	157.60	0.521
I.....	246.1	45.40	0.176	76.4	19.20	0.251	181.0	154.10	0.851	58.0	34.72	0.599	205.9	101.30	0.496
II.....	100.7	98.65	0.028	284.8	135.75	0.477	269.2	131.95	0.453	180.2	71.65	0.397	286.1	305.00	1.146
III.....	135.3	27.50	0.203	79.7	39.90	0.500	235.1	139.45	0.593	321.5	273.00	0.818	176.4	134.25	0.761
IV.....	43.0	26.65	0.620	119.7	19.30	0.161	42.7	50.15	1.174	27.7	31.10	1.123	114.4	31.80	0.278
V.....	63.0	6.55	0.104	58.7	7.90	0.155	104.8	31.50	0.299	88.8	18.90	0.213	125.2	25.85	0.210
VI.....	9.4	2.15	0.228	33.6	5.90	0.116	13.4	9.35	0.698	20.4	8.30	0.407	25.3	10.70	0.423
VII.....	0.6	—	—	9.1	1.75	0.192	1.9	3.75	1.902	21.4	6.10	0.985	0.0	5.25	—
VIII.....	3.9	0.00	0.000	0.9	0.65	0.734	0.9	1.50	1.752	3.0	2.05	0.676	2.8	2.90	1.032
Estações															
Outono.....	72.2	2.85	0.039	186.3	18.70	0.100	94.9	5.25	0.055	97.3	4.70	0.048	106.7	9.00	0.084
Inverno.....	130.0	25.30	0.194	132.3	52.70	0.398	269.8	132.25	0.490	151.2	53.55	0.354	256.8	183.95	0.716
Primavera.....	80.8	18.80	0.225	85.6	22.40	0.261	128.4	73.90	0.573	147.9	104.95	0.709	138.1	64.30	0.465
Verão.....	4.6	0.70	0.153	14.3	2.10	0.147	5.3	4.85	0.912	14.9	5.45	0.366	9.2	6.25	0.679
Anos.....	71.7	11.70	0.163	104.4	25.80	0.228	124.1	53.75	0.433	102.5	42.25	0.412	127.2	65.40	0.514

Confrontando os valores mensais do caudal que a chuva ocasionaria se não houvesse perdas, com os do caudal efectivo escoado, observa-se que é muito reduzida a associação entre as variações

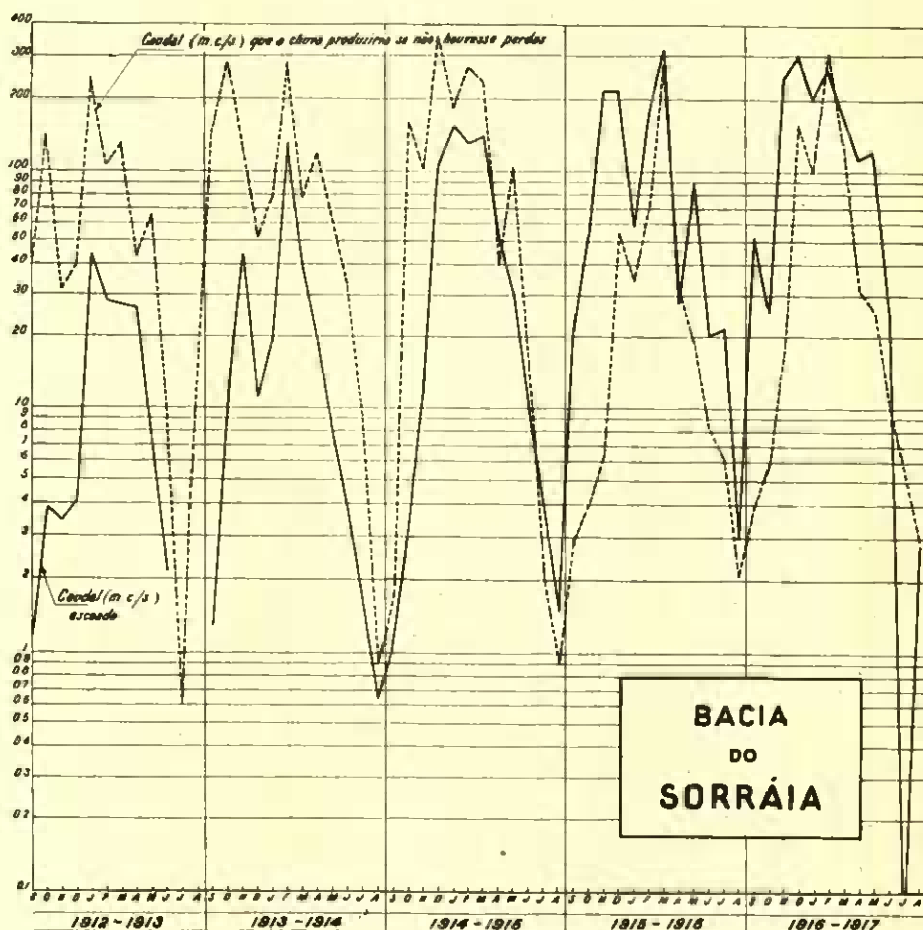


FIG. 7

duns e doutros. Êste facto traduz-se por uma grande variabilidade do coeficiente de escoamento, que tem, nos diversos meses, os seguintes valores médios:

TABELA XIII

Meses	Valor médio do coeficiente de escoamento	Erro médio	Erro médio em %
IX.....	0.066	0.024	36
X.....	0.078	0.038	49
XI.....	0.132	0.051	51
XII.....	0.276	0.064	23
I.....	0.474	0.131	28
II.....	0.500	0.161	32
III.....	0.575	0.112	19
IV.....	0.671	0.239	35
V.....	0.192	0.036	18
VI... ..	0.374	0.101	27
VII.....	0.793	0.595	74
VIII.....	1.043	0.249	24

A análise das médias relativas às estações é um pouco mais elucidativa, certamente por se tratar de períodos bastante extensos para que haja uma certa compensação nas oscilações. Na TABELA XIV acham-se indicadas as alturas pluviométricas e os coeficientes de escoamento correspondentes às estações dos cinco anos considerados. Reconhe-se, examinando os números dessa tabela, que 1) os valores do coeficiente de escoamento relativos ao Outono são baixos; 2) os relativos ao Inverno e Primavera, e principalmente os respeitantes a esta última estação, são mais elevados; e 3) os que correspondem ao Verão são muito altos nos anos mais chuvosos. De um modo geral, o valor de coeficiente de escoamento apresenta-se tanto maior quanto mais elevado é o da altura pluviométrica correspondente à estação anterior, ou talvez antes às duas estações anteriores àquela a que o referido valor do coeficiente de escoamento diz respeito. Em alguns casos, pelo menos, parece ser confirmada esta relação pelo facto de valores muito diferentes do coeficiente de escoamento corresponderem a quedas pluviométricas praticamente iguais, como indicam os exemplos seguintes:

Estação	Altura pluviométrica durante a estação (mm.)	Coefficiente de escoamento	Altura pluviométrica durante a estação anterior (mm.)	Altura pluviométrica durante as duas estações anteriores (mm.)
Verão de 1914.....	19.6	0.146	117.4	295.0
Verão de 1916.....	20.4	0.368	201.9	404.8
Inverno de 1914-1915	177.6	0.396	252.8	259.1
Primavera de 1914...	176.1	0.575	362.2	491.0
Inverno de 1915-1916	202.9	0.358	132.1	139.4
Primavera de 1916...	201.9	0.713	202.9	335.0

Se se considerarem os valores do coeficiente de escoamento relativos a cada um dos cinco anos de observações, ainda se nota a influência da chuva caída durante épocas anteriores ao período a que corresponde um dado valor do coeficiente de escoamento.

TABELA XIV

ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS EM MM. (1) E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (2)										
Estações	1912-1913		1913-1914		1914-1915		1915-1916		1916-1917	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Outono.....	98.0	0.039	252.8	0.100	128.8	0.055	132.1	0.048	144.8	0.084
Inverno.....	174.5	0.194	177.6	0.396	362.2	0.490	202.9	0.358	344.7	0.715
Primavera.....	110.8	0.225	117.4	0.261	176.1	0.575	201.9	0.713	189.5	0.465
Verão.....	6.3	0.153	19.6	0.146	7.3	0.908	20.4	0.368	12.6	0.679
Ano.....	389.6	0.163	567.4	0.227	674.4	0.433	557.3	0.413	691.6	0.514

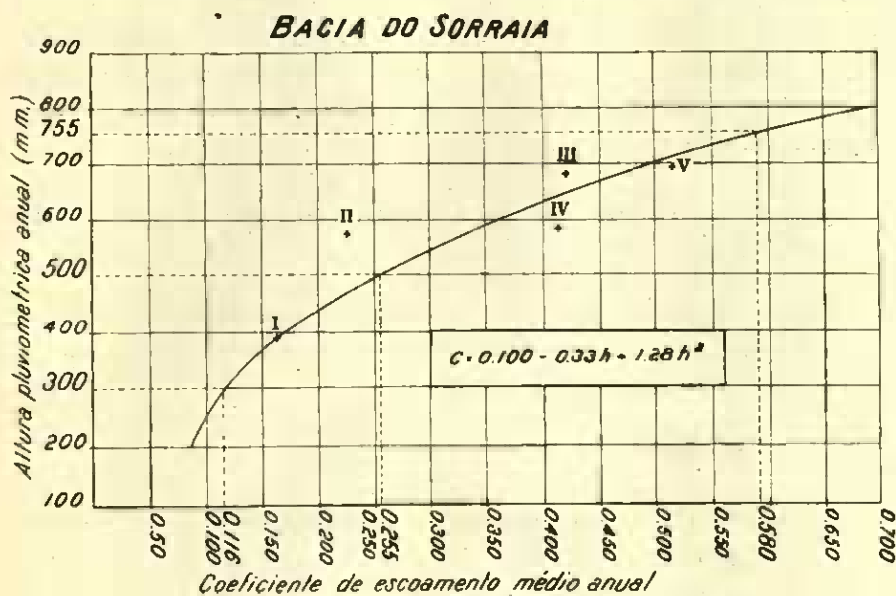
Assim, em 1913-1914 caíram 567.4 mm. de chuva na bacia, e o coeficiente de escoamento, correspondente a esse ano, foi 0.227; em 1915-1916 a altura pluviométrica foi de 557.3 mm., e durante esse período o coeficiente de escoamento atingiu o valor 0.413. Nos anos anteriores, as alturas pluviométricas foram, respectivamente, 389.6 mm. (1912-1913) e 674.4 mm. (1914-1915).

É manifesta, em todos os casos referidos, a importância que reveste o estado de saturação do terreno, que afecta o escoamento superficial e o escoamento cortical, na bacia do Sorraia, de uma maneira notável.

A título de simples hipótese, pode-se tentar exprimir a relação entre os valores do coeficiente de escoamento médio anual e os das alturas pluviométricas referentes aos mesmos anos, tomando como base os números que figuram na TABELA XIII. Essa relação seria traduzida pela curva da Fig. 8, e pela equação, determinada pelo método dos mínimos quadrados,

$$c = 0.100 - 0.33 h + 1.28 h^2,$$

em que c é o coeficiente de escoamento médio relativo a um ano, e h (m.) a altura pluviométrica total nesse ano. Evidentemente, o número de valores sobre que se operou para obter esta equação é muito reduzido para permitir um resultado de razoável segurança; só se atin-



• Valores do coeficiente de escoamento determinados nos 5 anos de observações (1912-1913 a 1916-1917)

Relação entre a altura pluviométrica anual e o coeficiente de escoamento

FIG. 8

giria essa segurança trabalhando com um grupo de 30 ou 35 valores de médias pluviométricas anuais, e outros tantos valores do caudal médio anual do curso de água. Utilizando os poucos elementos de que se dispõe, admitindo, o que é muito duvidoso, que a curva da Fig. 8 traduz com suficiente aproximação as variações do valor do coeficiente de escoamento em função das alturas pluviométricas anuais, e admitindo mais que o valor médio da altura pluviométrica anual regula por 500 mm., obtem-se, para o coeficiente de escoamento correspondente, um valor próximo de 0.255. Se se adoptarem, de acôrdo com a terceira regra de BINNIE, os valores $0.60 \times 500 = 300$ mm., e $1.51 \times 500 = 755$ mm., para as alturas anuais de chuva mínima e máxima, poder-se-á prever uma variação do coeficiente de escoamento anual entre os limites 0.116 e 0.580, isto é, do simples para o quintuplo.

Assim, embora se tenha tomado o maior cuidado em não fazer generalizações que os dados numéricos de que se dispõe não justificariam, chega-se à conclusão de que o coeficiente de escoamento não pode ser considerado constante (como ficou dito no § 3); o seu valor varia de ano para ano segundo a altura pluviométrica do ano a que corresponde, segundo talvez também a altura pluviométrica do ano ou anos anteriores, e ainda, provavelmente, segundo o modo como influem outros factores.

14. Outros métodos de determinação do escoamento médio anual

Dando-se a segunda das hipóteses mencionadas no § 12, é mais ou menos justificável o recurso a métodos que R. E. HORTON /20/ classifica da forma seguinte:

- 1) Método da simples generalização;
- 2) Método comparativo directo;
- 3) Método da percentagem da altura pluviométrica;
- 4) Método empírico;
- 5) Método hidro-físico.

15. Método da simples generalização

Consiste este método na adopção dos resultados obtidos para um curso de água onde se procedeu a medições de caudal frequen-

tes durante um período longo, admitindo-se que tais resultados podem ser aplicados sem alteração a qualquer curso de água situado na mesma zona. Cita-se este método apenas para dizer que tem de ser inteiramente rejeitado. O conhecimento que se tem actualmente de modo como as condições fisiográficas e agrícolas das diferentes bacias influem no escoamento é suficiente para mostrar que não é aceitável o processo de aplicar a um curso de água os resultados obtidos para outro sem ter sido feito o estudo comparativo das condições de escoamento nas respectivas bacias hidrográficas.

16. Método comparativo directo

O emprêgo deste método pressupõe a admissão da hipótese de que o escoamento por quilómetro quadrado medido numa parte de uma bacia hidrográfica se aplica directamente, *proporcionalmente*, a toda a bacia hidrográfica onde se pretende avaliar o escoamento, ou vice-versa.

É um método de aplicação fácil, e, em bastantes casos, é tão bom como qualquer outro, senão melhor. Um caso em que é certamente legítimo o seu emprêgo é o que se apresenta quando se procedeu a medições de caudal num local de um curso de água, e se pretende determinar o caudal do mesmo curso num outro local, não muito afastado do primeiro. Em tais condições, uma das bacias hidrográficas inclui a outra; as condições físicas são idênticas para as duas bacias numa parte considerável da bacia maior, embora essas condições possam ser diversas na superfície que não é comum às duas bacias. É todavia necessário proceder a correcções, para evitar erros graves: Por exemplo, supondo que se trata de um rio cujo caudal foi medido numa secção a seguir a uma zona montanhosa, correspondendo ao curso de água, até essa secção, uma bacia de captação de 100 km. q., e que se pretende determinar o caudal do mesmo rio numa secção situada nas planícies da parte inferior do curso, onde a área da superfície de abastecimento é de 150 km. q.: se o escoamento na bacia superior fôr de 750 mm., é este o valor que o método comparativo directo considera aplicável a toda a superfície. Se, porém, em consequência de diferenças de altura pluviométrica, declive, revestimento vegetal, etc., o escoamento na superfície de 50 km. q. de área, não comum às duas bacias, fôr de 600 mm. apenas, o escoamento relativo à zona de 150 km. q. será de $\frac{2}{3} \times 750 + \frac{1}{3} \times 600 = 700$ mm.

17. Método da percentagem da altura pluviométrica

Utilizando este método, determina-se primeiramente a relação entre altura pluviométrica e caudal escoado por meio de medições directas numa zona ou em algumas zonas da superfície a estudar, e admite-se que, para essa superfície considerada em conjunto, o regime pluviométrico e as condições físicas são idênticos aos da zona ou zonas onde se procedeu a medições directas, de modo que a percentagem determinada para as superfícies parciais pode ser generalizada para a superfície total.

Este método e o precedente têm um defeito comum, que é o de suporem que as condições físicas nas superfícies que se comparam são as mesmas, o que só excepcionalmente pode acontecer. Se o engenheiro que aplica este método tivesse um conhecimento suficiente das condições físicas da superfície a que correspondem as medições e das da superfície que, somada a esta, perfaz a superfície, total o procedimento mais lógico consistiria em aplicar o método comparativo directo, corrigindo convenientemente o valor do escoamento para a superfície não comum. Em segundo lugar, o método da percentagem da altura pluviométrica tem o defeito intrínseco de considerar o escoamento numa relação constante com a altura pluviométrica, quando de facto ele é um *resíduo* dessa altura: é o que *fica* depois de deduzidas certas perdas. Ora algumas destas perdas são mais ou menos proporcionais à altura pluviométrica—é o caso da intercepção pela vegetação—e podem por isso ser expressas como percentagem dela; outras, porém, ou são independentes da quantidade de chuva caída, ou dependem no mesmo grau, ou até em maior grau, doutros factores.

18. Método empírico

Consiste este método—ou, para melhor dizer, este expediente—umas vezes em recorrer a uma fórmula que procura exprimir o escoamento em função de determinados factores; outras, em arbitrar simplesmente um valor para o coeficiente de escoamento, baseando-se a escolha desse valor, não em qualquer estudo prévio, mas apenas em ideias muito vagas, sem qualquer fundamento em observações.

Tratando primeiramente das fórmulas empíricas, convém notar que, se o escoamento tiver sido cuidadosamente estudado, durante

um longo período, numa bacia, ou num grupo de bacias hidrográficas em que as condições físicas e climáticas sejam muito uniformes, podem os dados obtidos ser susceptíveis de redução a uma ou várias expressões analíticas mais ou menos complicadas. Todavia—e é este o ponto de capital importância—as expressões analíticas determinadas apenas têm valor *enquanto se tratar das condições a que correspondem os elementos em que elas se baseiam*: não se justifica a sua generalização a casos em que tais condições sejam diversas, a não ser dentro de limites muito restritos, porque, como revela a simples enumeração dos factores que podem influir no escoamento, só por um extraordinário acaso haverá identidade de condições em duas bacias hidrográficas, ainda que estejam muito próximas uma da outra.

As fórmulas que pretendem exprimir o escoamento podem classificar-se em dois grupos: as que só tomam em consideração a altura pluviométrica anual, e as que atendem também a outros factores.

Serve de exemplo das primeiras a fórmula de KELLER /15/

$$E = 0.942 \, h - 430,$$

em que

E = escoamento médio anual (mm.),

h = altura pluviométrica média anual (mm.).

Evidentemente, uma fórmula deste tipo só pode ter qualquer utilidade como auxiliar eventual para o método da percentagem da altura pluviométrica, a que fez anteriormente referência, e cujos defeitos já foram apontados.

No segundo grupo de fórmulas figura um grande número de expressões que procuram tomar em consideração factores diversos. Tais são as fórmulas de VERMEULE /16/

$$E = h (11 + 0.29 \, h) M,$$

em que

E = escoamento anual, em polegadas,

h = altura pluviométrica anual, em polegadas,

M = um coeficiente dependente da temperatura média anual,

e a fórmula de JUSTIN /17/

$$E = 0.934 \frac{h^2}{T} S^{1.55},$$

em que

E = escoamento anual, em polegadas,

h = altura pluviométrica anual, em polegadas,

T = temperatura média anual, em graus F.,

S = diferença entre as cotas do ponto mais alto e do ponto mais baixo da bacia.

Vê-se que a fórmula de VERMEULE não toma em linha de conta o relêvo da bacia hidrográfica, o que a de JUSTIN procura fazer. Ambas as expressões tentam atender à influência da evaporação, mas consideram-na unicamente dependente da temperatura, quando esta é apenas um dos factores que sobre ela actuam. Nem uma nem outra fórmula consideram a influência do revestimento vegetal da bacia sobre o escoamento, influência por vezes mais importante do que a do relêvo.

Uma das fórmulas mais conhecidas na Europa é a de ISKOWSKI /18/, da forma

$$Q = 0.03171 c_m \cdot h \cdot S,$$

na qual

Q = caudal médio escoado num ano normal, em m. c./s.,

h = altura pluviométrica média anual, em m.,

S = área da bacia hidrográfica, em km. q.,

c_m = coeficiente de escoamento médio anual,

variando o valor a atribuir a c_m conforme o relêvo do terreno da bacia, e devendo ser escolhido entre os seguintes:

TABELA XV

1	Terrenos apaulados, depressões extensas.....	0.20
2	Planícies ou terrenos ligeiramente ondulados.....	0.25
3	Parte planície, parte colina.....	0.30
4	Colinas pouco declivosas.....	0.35
5	Parte montes de altura mediana, parte colinas) ou Colinas de vertentes bastante inclinadas).....	0.40
6	Montes elevados, comparáveis às Ardennes.....	0.45
7	Montes elevados, comparáveis ao Harz.....	0.50
8	Montes elevados, comparáveis aos Vosgos.....	0.55
9	Montanhas, conforme a inclinação das vertentes.....	0.60
10		0.65
11		0.70

Nem as fórmulas citadas, nem qualquer das muitas outras que têm sido propostas, tomam em consideração o escoamento cortical, pelo menos de maneira explícita. GRAVELIUS /19/ sugeriu a expressão

$$E = E_c + \lambda (h - C),$$

em que

E = escoamento anual,

E_c = escoamento cortical,

h = altura pluviométrica anual,

C = uma constante,

λ = um coeficiente que depende do modo como a altura pluviométrica está relacionada com o escoamento,

mas esta expressão não reveste forma utilizável, e implica a necessidade de considerar constante o escoamento cortical, quando de facto é provável que ele varie muito de ano para ano.

O processo de fixar arbitrariamente um valor para o coeficiente de escoamento é, infelizmente, muito seguido entre nós. Percorrendo as páginas das memórias justificativas de projectos de obras cuja utilização proveitosa e por vezes até cuja razão de ser dependem do quantitativo do escoamento, e os relatórios que criticam êsses projectos, encontram-se com freqüência afirmações dêste teor:

«Quanto ao coeficiente de escoamento médio anual, não é no nosso país... que se poderá contar com um coeficiente tão alto como 0.60, embora em outros países a êle se tenha chegado... PACORET afirma que o de 0.33 poderá, em geral, aceitar-se como mínimo... A falta de mais seguras indicações parece... que será aceitável o até (*sic*) 0.40».

«... no nosso caso especial, em que se trata de uma pequena bacia hidrográfica, podemos admitir que... êsse coeficiente se aproxima muito da unidade no seu valor médio anual. Entretanto admitiremos o valor de 0.75...»

«Como se trata de uma bacia de natureza granítica, atribuiremos ao coeficiente de escoamento o valor 0.40».

Nota-se que a escolha do valor atribuído ao coeficiente de escoamento se baseia em vagas apreciações em que não intervém qualquer estudo sério, mas apenas um critério pessoal, não fundamentado, e que, naturalmente, varia de indivíduo para indivíduo. Não é só no nosso País, aliás, que se procede assim. R. E. HORTON /20/, num trabalho publicado nas *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, classifica o sistema a que se faz referência como «... a disgrace to the Profession». KANTHACK /3/, comentando os projectos que têm sido apresentados na África do Sul, diz: «O engenheiro, ao avaliar o escoamento, facilmente cai no expediente muito simples de determinar a quantidade média de chuva anual, e tomar uma percentagem arbitrária como representando a água escoada. Por qualquer motivo, tem particular predilecção pela percentagem de 0.50». Em Portugal, o número que tem mais adeptos é 0.30, talvez por ser o que os formulários Franceses mais vezes citam. A Comissão de 1884 /34/ manifestou preferência pelo número 0.25, mas poderia ter optado por números como 0.15 ou 0.60, por exemplo, com iguais probabilidades de acertar.

19. Método hidrofísico

De todos os métodos que não sejam o da medição directa, o hidrofísico é o mais laborioso, mas também o mais capaz de condu-

zir a resultados aceitáveis. Foi proposto pelo PROF. A. F. MEYER, da Universidade de Minnesota, em 1912, e acha-se descrito minuciosamente nas *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, de 1915 /23/.

MEYER preocupou-se muito particularmente com a determinação das perdas por evaporação, física e fisiológica. O estudo das variações das quantidades de água evaporadas do solo em várias bacias hidrográficas dos Estados de Minnesota e Wisconsin e outras regiões, nas diversas estações do ano, tendo em vista a sua associação com as

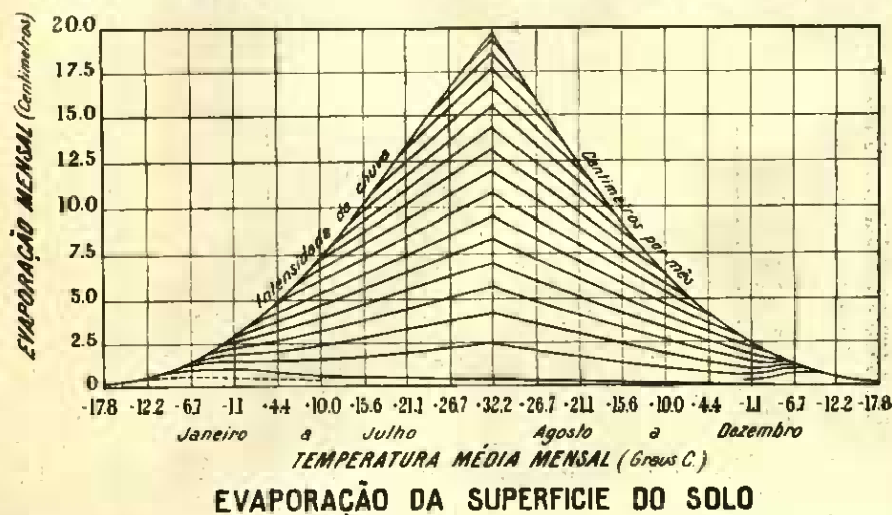


FIG. 9

variações da temperatura e da altura pluviométrica, conduziu-o a resultados traduzidos pela sua *Curva da Evaporação* (Fig. 9).

A Curva da Evaporação de MEYER baseia-se na consideração da marcha, ao longo do ano, dos fenómenos meteorológicos que mais influem na evaporação nas regiões onde o autor recolheu os seus dados. Estabelece-se distinção entre uma parte da evaporação que se mantém constante durante certos períodos, e outra que varia conforme variam as influências climáticas, predominando umas vezes a da temperatura, outras a da humidade disponível.

Os valores obtidos para a evaporação nos diversos períodos do ano (MEYER adopta ordinariamente períodos mensais) são multiplicados por um coeficiente a determinar, variável segundo o relevo, a extensão e carácter do revestimento vegetal, a natureza do solo da

bacia e as condições de humidade e vento que nela prevalecem. Assim, no caso de uma bacia muito plana, desprovida de cobertura vegetal, com um solo delgado pouco permeável assente sobre rocha, em condições de pouca humidade e grande velocidade de vento, adoptar-se-á um coeficiente muito elevado (superior a 1.25). No caso de uma bacia com declives acentuados, solo arenoso espesso, sendo a humidade elevada e a velocidade do vento reduzida, tomar-se-á um valor baixo para o coeficiente (menos de 0.95, e, como limite, 0.60). MEYER

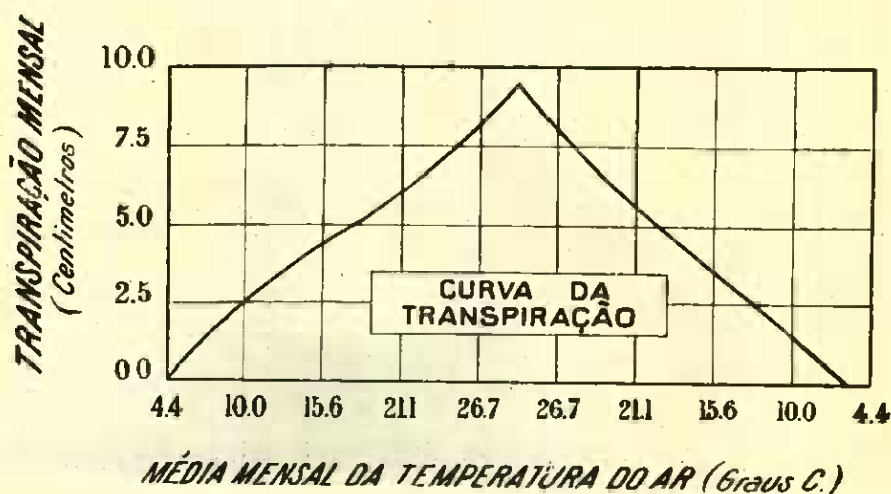


FIG. 10

afirma que «... com alguma prática, escolhem-se valores do coeficiente para bacias diferentes com notável exactidão».

Uma outra curva, a *Curva da Transpiração* (Fig. 10), permite a escolha de valores a atribuir nos diversos casos à evaporação fisiológica (convenientemente corrigidos por meio de um coeficiente para atender à humidade disponível em cada mês) dependentes da natureza da vegetação, duração do período de actividade vegetativa e número de horas de sol.

O método hidrofísico de MEYER, reduzido às suas linhas gerais, consiste no seguinte:

I. Obtenção de dados físicos.

- A. Dados relativos à chuva e temperatura, registados em postos situados na bacia ou perto dela, que conduzam à determinação da altura pluviométrica e temperatura mensais médias.
- B. Dados relativos à velocidade do vento, humidade relativa e outras características meteorológicas notáveis.
- C. Dados relativos à topografia, revestimento vegetal, e natureza do solo, que tenham influência sobre a evaporação.
- D. Dados relativos à natureza e densidade da vegetação e duração do período activo relacionados com a temperatura e insolação.
- E. Dados relativos à área de superfícies livres de água, paúis, etc.

II. Determinação das perdas.

A. Evaporação da superfície da água.

1. Evaporação mensal correspondente às diversas temperaturas e estações do ano (que pode ser obtida por meio dos dados do evaporómetro de PICHE) multiplicada pela percentagem da área de superfícies livres de água existentes na bacia (Dados I-E) e corrigida por meio de um coeficiente (escolhido de acordo com os dados I-B).

B. Evaporação da superfície do solo.

1. Determinação do coeficiente aplicável à bacia baseada principalmente nos dados I-C e I-B.
2. Determinação da altura de água evaporada por mês, correspondente à temperatura e altura pluviométrica médias mensais, obtida por meio da Curva da Evaporação e multiplicação da referida altura de água evaporada pela percentagem da área da superfície do terreno e pelo coeficiente determinado em II-B-1.

C. Transpiração.

1. Determinação de transpiração normal correspondente à estação, baseada nos dados físicos I-D.
2. Determinação do coeficiente de transpiração, ou seja a razão entre a transpiração (determinada pela Curva respectiva) correspondente à estação e às temperaturas médias mensais e a transpiração normal de estação obtida por meio dos dados II-C-1.
3. Determinação da transpiração mensal, aplicando-se o coeficiente de transpiração aos valores mensais obtidos da Curva da Transpiração em correspondência com dadas temperaturas

mensais, e correcção desses valores tendo em vista a precipitação pluvial, a infiltração e o armazenamento.

- III. Determinação da perda total, pela soma das perdas mensais das superfícies de água e de terreno; dedução destas perdas mensais das precipitações mensais, que dará o quantitativo anual da água escoada na bacia hidrográfica de que se trata, corrigindo-se ou não este total anual, conforme as condições de armazenamento cortical.

O Prof. MEYER obteve, com a aplicação do seu método em 15 bacias hidrográficas, resultados que se aproximam muito dos provenientes do método da medição directa, como indica a TABELA XVI:

TABELA XVI

DADOS FÍSICOS OBSERVADOS E CALCULADOS MÉDIA ANUAL											
Cursos de água da bacia	Número de anos de observações	Coefficiente de evaporação	Área da bacia (km. q.)	Altura pluviométrica (mm.)	Temperatura Graus C.	Evaporação (mm.)	Transpiração (mm.)	Perda total (mm.)	Precipitação menos perdas (mm.)	Escoamento calculado (mm.)	Escoamento médio (mm.)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Mississippi	17	1.20	50,500	693.4	5.0	365.8	195.6	561.4	132.0	132.78	134.87
Little Fork	5		4,470	607.1	2.8	284.5	175.3	459.8	147.3	147.30
Minnesota	5	1.25	16,380	576.6	6.1	358.1	190.5	548.6	28.0	28.00
Root	6	1.225	4,050	797.6	7.2	419.1	226.1	645.2	19.5 ¹	19.50	17.80
Ollertail	6	1.10	3,400	584.2	4.4	342.9	167.6	510.5	152.4	154.94
										131.06	132.08
Sainte Croix ..	11	1.05	15,400	762.0	5.0	332.7	177.8	510.5	73.7	71.12
Ohio	14	0.875	61,930	1043.9	10.6	375.9	147.3	523.2	2	67.56 ²	65.79
Tohickon	24	0.90	265	1242.1	10.6	424.2	177.8	602.0	251.5	251.50	243.84
James	7	0.925	16,200	1069.3	12.2	414.0	177.8	591.8	520.7	520.70	558.80
Roanoke	9	0.90	1,015	1082.0	13.9	429.3	177.8	607.1	640.1	640.10	662.94
Tombidgee ...	9	1.05	11,550	1249.7	16.7	579.1	213.4	792.5	477.5	480.06	457.20
Colorado	10	1.20	96,200	683.8	18.9	449.6	205.7	655.3	472.4	472.44	449.58
Sacramento ...	9	0.85	27,000	817.9	11.1	215.9	61.0	276.9	457.2	457.20	434.34
Pitt	6	1.10	7,670	375.9	8.9	175.3	76.2	251.5	28.0	26.92	18.80
									541.0	541.10	518.16
McCloud	6	0.60	1,460	1572.2	12.8	208.3	61.0	269.3	124.4	124.40
									98.3	98.30	99.57
									1302.9	1302.90	1371.60

¹ 4 anos de observações

² 5 anos de observações

Discutindo o método hidrofísico de MEYER, o engenheiro R. E. HORTON /20/ reconhece-lhe as seguintes vantagens:

- a) O método hidrofísico considera o escoamento não como a *relação*, mas como a *diferença* entre abastecimento de água e perdas de água, o que é perfeitamente lógico;
- b) Toma em linha de conta um maior número de factores que influem sobre o escoamento do que qualquer outro processo;
- c) Utiliza todos os dados disponíveis;
- d) Embora obrigue a recorrer a coeficientes arbitrários, estes coeficientes não influem sobre todo o cálculo; apenas dizem respeito à parte dos factores cuja intervenção se considera, sendo o efeito dos restantes factores estudado por meio de observações.

20. Estimativa do escoamento, no caso de não existirem dados pluviométricos nem resultados de medições do caudal dos cursos de água

Dando-se a terceira das hipóteses mencionadas no § 15, a determinação do caudal escoado numa bacia hidrográfica não pode ser feita com grau de aproximação aceitável. Apenas se conseguirá obter uma *indicação* se houver bacias em condições muito semelhantes às que prevalecem na bacia de que se trata, e se nessas bacias tiver sido estudado o escoamento com bastante rigor.

Os resultados destas estimativas são sempre porém muito duvidosos, e não se justifica o recurso a eles senão no caso de ante-projectos.

21. Escoamento máximo provável

O engenheiro que projecta uma obra hidráulica, do mesmo modo que o que se ocupa do estudo de estradas ou caminhos de ferro, tem de se ocupar atentamente do problema que consiste em dar passagem às águas das cheias, de modo a garantir a segurança das obras, dos terrenos cultivados, etc. No caso de açudes e diques de albufeiras este problema tem considerável interesse, e, quando se trate de diques de terra, pode-se afirmar que constitui o ponto de importância decisiva.

É extremamente difícil prever os máximos caudais com que

haverá a contar numa determinada bacia hidrográfica, ainda que se disponha de dados estatísticos que alcancem um período bastante extenso. Uma comissão de engenheiros Americanos, depois de ter estudado cuidadosamente as estatísticas relativas ao Rio Sacramento, na Califórnia, que abrangiam 40 anos de observações, concluiu que a maior cheia que se poderia esperar seria de cerca de 2250 m. c. por segundo: alguns anos depois houve uma cheia de 5600 m. c. por segundo. Num afluente do Sacramento, o Cache Creek, ocorreu um facto análogo; os registos de observações indicavam uma cheia máxima de 560 m. c. por segundo, mas, guiando-se por certos indícios, um dos engenheiros encarregados do estudo de uma obra a construir aventou a hipótese de ser possível, embora muito pouco provável, uma cheia de 1700 m. c. s. Esta idea foi a princípio considerada absurda, mas acabou por ser aceite, e o descarregador de superfície foi proporcionado para dar passagem a esse caudal. Mal tinha terminado a construção das obras, sobreveio uma cheia de 1800 m. c. s. Muitos outros exemplos poderiam ser citados, mas os que se mencionaram têm o interesse de dizer respeito a casos ocorridos numa região que tem com o continente português notáveis semelhanças sob o ponto de vista climático.

22. Factores que influem no escoamento máximo

E. C. MURPHY /24/, referindo-se a condições prevalecentes em bacias hidrográficas americanas, expõe com muita clareza as principais circunstâncias que affectam o escoamento máximo. Segundo êle, o caudal de cheia numa bacia depende, fundamentalmente, dos seguintes factores:

1) *Extensão, duração e intensidade da precipitação pluvial*, sendo predominante a influência da intensidade da chuva no caso de bacias hidrográficas de área reduzida;

2) *Direcção do movimento do temporal que origina a cheia*. Se êle se deslocar seguindo a direcção em que o curso de água corre, será maior o escoamento, do que no caso de caminhar normalmente ou obliquamente à direcção do curso de água;

3) *Quantidade de neve no solo, e temperatura durante o temporal*. Nos rios do Norte, as grandes cheias são devidas quasi exclusivamente à fusão rápida da neve. Se o solo estiver gelado, o escoamento

pode atingir enormes proporções, porque deixa, praticamente, de haver infiltração;

4) *Condições de armazenamento na bacia hidrográfica.* Há bacias onde o armazenamento cortical pode absorver cerca de 200 mm. de chuva. Se as condições de armazenamento forem boas, aumentará a duração do período de cheias, e reduzir-se-á a intensidade destas.

5) *Área da bacia hidrográfica.* A maior parte das grandes chuvas interessam superfícies relativamente pequenas, de modo que é mais provável que um grande temporal abranja uma parte considerável de uma bacia pequena do que de uma bacia de grande extensão. A máxima vazão por quilómetro quadrado será portanto, em regra, tanto maior quanto mais reduzida fôr a área da bacia;

6) *Fisiografia da bacia hidrográfica.* A vazão máxima, numa bacia relativamente comprida e estreita, com afluentes cuja ligação ao curso principal se faça em pontos distantes uns dos outros, será menor do que numa bacia de área igual mas de forma aproximadamente circular, com afluentes que desagüem no curso principal em locais pouco afastados. Vertentes ásperas, impermeáveis, não revestidas de vegetação, e declive acentuado do leito do curso de água provocam um escoamento rápido das águas na ocasião das cheias; leitos estreitos, profundos, sinuosos, de declive suave, originam um movimento lento da água, grandes variações da altura desta e transbordamento frequente dos leitos.

G. CHAMIER /25/ estabeleceu o seguinte princípio, que, de um modo geral, traduz convenientemente os factos observados: «O escoamento máximo é em regra produzido pela máxima queda de chuva de duração correspondente ao tempo necessário para que a água pluvial caida no ponto da bacia mais afastado da secção onde o escoamento é medido atinja esta secção». G. B. WILLIAMS /26/ referindo-se a este princípio, observa que para determinar o escoamento máximo é necessário conhecer 1) o tempo durante o qual a água que se escoar se concentra na bacia; 2) a máxima altura pluviométrica possível durante o mencionado período de concentração; 3) a percentagem de chuva com que há a contar.

Os engenheiros Italianos tem estudado com desenvolvimento a questão da determinação do escoamento máximo, baseiando-se nas concepções teóricas de TURAZZA, FANTOLI, PUPPINI, e outros. Uma Memória devida ao Eng. A. GREGORI /27/ contém uma interessante resenha das investigações realizadas neste sentido, mas é muito duvidosa a efficácia prática dos métodos propostos, em consequência, sobre-

tudo, das hipóteses que se tem de admitir, e cuja concordância com a realidade dos factos é extremamente difícil verificar.

23. Determinação do escoamento máximo provável. Fórmulas

A análise das estatísticas, nas regiões onde se tem procedido a medições pluviométricas e de caudais durante períodos longos, conduziu à obtenção de diversas fórmulas para a determinação do escoamento máximo provável. Embora estas fórmulas tenham de ser empregadas com extrema precaução, visto terem apenas valor para um determinado grupo de condições fisiográficas, climáticas, etc., é conveniente citar as mais conhecidas, pois algumas delas podem ter utilidade para fornecer indicações de ordem geral, se bem que nunca se devam adoptar os seus resultados sem proceder a correcções que o estudo atento das condições especiais da bacia que se trata aconselhe.

Para pequenas bacias de (1 a 200 km. q. de área) usa-se na Baviera a fórmula de HOFMANN /32/

$$Q_{max} = m \frac{A}{(1+A)^{1/3}} \left(1 - 0.4 \frac{A_a}{A} \right) \text{ (m. c./s./km. q.)}$$

em que

A = área da bacia em km. q.;

A_a = área da parte arborizada da bacia;

m = coeficiente dependente do declive do vale,
cujo valor se toma como

4.50	conforme o declive longitudinal	> 2
3.75	nos dois terços inferiores do vale	2 a 0.5 ‰
3.00	é	< 0.5 ‰

Para o caso de bacias de maior extensão (ainda na Baviera) propôs o mesmo autor, em vez de expressão anterior, a seguinte:

$$Q_{max} = \frac{3A}{(1+A)^{0.71}} = 3A^{0.71} \text{ (m. c./s./km. q.)}$$

HOFBAUER /33/ propôs a fórmula

$$Q_{max} = m \sqrt{A} \text{ (m. c./s./km. q.)}$$

sendo A expressa em km. q., e tendo o coeficiente m os valores

- 15 a 21 no caso de terrenos planos,
- 21 a 31 no caso de terrenos ondulados, ou montes de altura mediana,
- 30 a 42 no caso de terrenos montanhosos.

HAERTEL /28/ sugeriu uma fórmula aplicável a bacias em que o comprimento de vale não excede 10 km., da forma seguinte:

$$Q_{max} = Q. m_1. m_2. m_3. m_4. \text{ (m. c./s./km. q.)}$$

Nesta expressão, Q é o caudal por km. q. correspondente ao escoamento considerado «normal». Quanto aos valores de m_1 , m_2 , m_3 e m_4 , são dados pela tabela seguinte:

TABELA XVII

Comprimento do vale em km.	m_1	Revestimento vegetal da bacia	m_2
0 a 2.....	1.0	Não arborizada.....	1.0
3	0.9		
4	0.83	$\frac{1}{4}$ arborizada.....	0.9
5	0.75		
6	0.68	$\frac{1}{2}$ arborizada.....	0.8
7	0.63		
8	0.58	$\frac{3}{4}$ arborizada.....	0.7
9	0.53		
10	0.50	$\frac{4}{4}$ arborizada.....	0.6
Acidentação da bacia	m_3	Permeabilidade do terreno	m_4
Vertentes muito inclinadas.....	1.	Impermeável.....	1.0
Muito montanhosa.....	0.95	Pouco permeável.....	0.9
Medianamente montanhosa.....	0.90	Medianamente permeável.....	0.8
Parte plana, parte pouco acidentada...	0.85	Muito permeável.....	0.0
Plana.....	0.80		

ISZKOWSKI /18/ apresentou uma das fórmulas mais conhecidas, da forma:

$$Q_{max} = c_h \cdot m \cdot h \cdot S \text{ (m. c./s./km. q.)}$$

em que h é a altura pluviométrica média anual (em m.), S a área da bacia hidrográfica (em km. q.), e c_h e m coeficientes cujos valores são dados pelas TABELAS XVIII e XIX.

TABELA XVIII

VALORES DO COEFICIENTE m									
S	m	S	m	S	m	S	m	S	m
1	10.0	200	6.87	1400	4.320	8000	3.060	110000	1.980
10	9.5	250	6.70	1600	4.145	9000	3.038	120000	1.990
20	9.0	300	6.55	1800	3.960	10000	3.017	130000	1.855
30	8.5	350	6.37	2000	3.765	20000	2.909	140000	1.790
40	8.23	400	6.22	2500	3.613	30000	2.801	150000	1.725
50	7.95	500	5.90	3000	3.450	40000	2.693	160000	1.650
60	7.75	600	5.60	3500	3.335	50000	2.575	170000	1.575
70	7.60	700	5.35	4000	3.250	60000	2.470	180000	1.500
80	7.50	800	5.12	4500	3.200	70000	2.365	190000	1.425
90	7.43	900	4.90	5000	3.125	80000	2.260	200000	1.350
100	7.40	1000	4.70	6000	3.103	90000	2.155	225000	1.175
150	7.10	1200	4.515	7000	3.082	100000	2.050	250000	1.000

Os valores intermédios obtêm-se por interpolação.

As categorias a que se refere a TABELA XIX são as seguintes:

I. Terrenos bastante permeáveis com vegetação normal, ou terrenos de permeabilidade média com vegetação abundante, ou terras lavradas. Os valores desta categoria dão, para bacias de superfície não superior a 4000 km. q., valores do caudal máximo escoado excessivamente pequenos. Devem por isso aplicar-se, para superfícies inferiores a 1000 km. q., os valores correspondentes à categoria II, e, para superfícies de 1000 a 4000 km. q., os valores que se obtêm combinando os que correspondem às categorias I e II.

II. Bacias hidrográficas com terrenos de permeabilidade variável com vegetação normal, em colinas ou montes; ou com terrenos de permeabilidade uniforme, mas inferior, em zonas com vegetação normal, de planície ou ligeiramente onduladas. Em

TABELA XIX

VALORES DO COEFICIENTE C_h					
Características topográficas dos terrenos		Valor de C_h para terrenos das categorias			
		I	II	III	IV
1.	Terrenos apaulados, depressões extensas	0.017	0.030	—	—
2.	Planícies ou terrenos ligeiramente ondulados.	0.025	0.040	—	—
3.	Parte planície, parte colinas.	0.030	0.055	—	—
4.	Colinas pouco declivosas.	0.035	0.070	0.125	—
5.	Parte montes de altura mediana, parte colinas ou Colinas de vertentes bastante inclinadas }	0.040	0.082	0.155	0.400
6.	Montes elevados, comparáveis às Ardennes	0.045	0.100	0.190	0.450
7.	Montes elevados, comparáveis ao Hartz.	0.050	0.120	0.225	0.500
8.	Montes elevados, comparáveis aos Vosgos	0.055	0.140	0.290	0.550
9.	Montanhas, conforme a inclinação das vertentes.	0.060	0.160	0.360	0.600
10.		0.070	0.185	0.460	0.700
11.		0.080	0.210	0.600	0.800

terrenos mais acidentados convém, para superfícies até 150 km. q., usar os valores correspondentes à categoria III; para superfícies até 1000 km. q., uma combinação dos valores correspondentes às categorias II e III; para superfícies mais extensas, os correspondentes à categoria II.

III. Terrenos impermeáveis com vegetação normal, no caso de colinas declivosas e montanhas. Aplicam-se os valores correspondentes a esta categoria quando a superfície da bacia não excede 5000 km. q.; para superfícies até 12000 km. q., emprega-se uma combinação dos valores das categorias II e III; para superfícies superiores a 12000 km. q., usam-se valores das categorias I e II combinados. Para bacias pequenas aplicam-se até $S=50$ km. q., os valores de IV; para superfícies até 300 km. q., valores combinados de III e IV.

IV. Terrenos muito impermeáveis, com pouca ou nenhuma vegetação, em colinas declivosas, montes elevados ou montanhas. Os valores correspondentes a esta categoria só são aplicáveis quando a superfície da bacia não excede 300 km. q.

Outros autores propozeram fórmulas mais simples, em algumas das quais não figura a altura pluviométrica média anual. Tal é a fórmula de LAUTERBURG /29/:

$$Q = m \frac{1120}{31 + \delta} \quad (\text{m. c./s./km. q.})$$

em que m é um coeficiente cujo valor varia entre 0.25 (no caso de

terrenos muito permeáveis em planície) e 0.90 (no caso de vertentes de grande declive, muito impermeáveis) e S representa a superfície da bacia hidrográfica; tais são as fórmulas de KRESNIK /30/

$$Q_{min} = m \frac{25}{\sqrt{S}} \quad (\text{m. c./s./km. q.})$$

$$Q_{max} = m \frac{32}{0.5 + \sqrt{S}} \quad (\text{m. c./s./km. q.})$$

em que m tem valores variáveis entre 0.6 e 0.2.

Os engenheiros Italianos recorrem com frequência à fórmula de POSSENTI /31/

$$Q = m \frac{h}{l} \left(S_m + \frac{S_p}{3} \right) \quad (\text{m. c./s./km. q.})$$

em que

S_m = Superfície montanhosa da bacia hidrográfica em km. q.;

S_p = Superfície plana da bacia hidrográfica em km. q.;

l = Comprimento do rio, em km., medido desde a origem;

m = Coeficiente numérico variável entre 700 e 800;

h = Altura, em m., da máxima precipitação pluvial em 24 horas.

Para o caso das regiões tropicais, é útil ensaiar o emprêgo das fórmulas que os engenheiros ingleses têm proposto para uso na Índia, a maior das quais são citadas no livro de R. B. BUCKLEY, *Irrigation Pocket Book* /2/. Entre elas, figuram as de RYVES, DREDGE, CRAIG, CHAMIER e RHIND.

Quási todas estas fórmulas são do tipo

$$Q = m \cdot S^n,$$

sendo

S = Área da bacia hidrográfica;

m = Coeficiente variável com a intensidade da chuva e a natureza dos terrenos da bacia hidrográfica;

n = Valor menor do que a unidade, variável em regra com o declive do curso de água e da respectiva bacia.

Relativamente a todas as fórmulas que se mencionaram, convém fazer as mesmas observações que foram suscitadas pelas fórmulas propostas para a determinação do escoamento médio anual. Há todavia, uma diferença importante entre os dois casos, por isso que, tratando-se de avaliar o escoamento máximo, é lícito admitir que se verificam certas condições desfavoráveis, o que permite fixar o valor de alguns elementos. Assim, pode, em alguns casos, admitir-se que o coeficiente de escoamento tem um valor igual à unidade, o que equivale a supor que não se dá evaporação nem infiltração durante o período de queda de chuvas que ocasiona a cheia. Evidentemente, é preciso evitar uma margem de segurança exagerada, que pode tornar, sem que tal se justifique, excessivamente elevado e inoportável até, o custo de obras cujas dimensões dependem do valor do escoamento máximo.

BIBLIOGRAFIA

1. P. LÉVY-SALVADOR—1920—Utilité et application de la mesure des précipitations atmosphériques / Rapports et Notes Techniques, Direction Générale des Eaux et Forêts, Annexe du Fascicule 51.
2. R. B. BUCKLEY—1920—Irrigation Pocket Book.
3. F. E. KANTHACK—1924—Principles of Irrigation Engineering.
4. M. DE HORATIIS—1930—Istituzioni di Idronomia Montana.
5. J. I. CRAIG / H. G. LYONS—1906—The Rains of the Nile Basin.
6. W. P. CREAGER—1927—Factors affecting Runoff / Hydro-Electric Handbook, by W. P. CREAGER and J. D. JUSTIN.
7. D. W. MEAD—1908—Water Power Engineering.
8. E. PACORET—1919—La Technique de la Houille Blanche, Vol. I.
9. F. H. NEWELL—1895—Proceedings of the Engineering Club of Philadelphia, Vol. 12.
10. I. B. LIPPINCOT and S. G. BENNETT—The Relation of Rainfall to Runoff in California / Engineering News, Vol. 47.
11. A. ENGLER—1919—Untersuchungen ueber der Einfluss des Wakes auf den Stand der Gewaesser.
12. R. B. BUCKLEY—1905—The Irrigation Works of India.
13. SIR JOHN BENTON—1906—Note on the Determination of Supplies of Water available for Irrigation Works.
14. H. THEISSEN—1924—Journal of the New England Water Works Association.
15. KELLER—1906—Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa.
16. C. VERMEULE—Report of the New Jersey Geological Survey.
17. I. D. JUSTIN—1914—Derivation of Runoff from Rainfall Data / Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 77.
18. R. ISZKOWSKI—1886—Beitrag zur Ermittlung der Niedrigst —, Normal — und Hochstwassermengen auf Grund charakteristischer Merkmale des Flussgebietes.
19. GRAVELIUS—1914—Flusskunde.
20. R. E. HORTON—1909—Transactions of the American Society of Civil Engineers.
21. F. S. HYDE / I. SCHUYLER—1902—Reservoirs for Irrigation, Water Power and Domestic Water Supply.
22. A. MEYER—1909—Transactions of the American Society of Civil Engineers.
23. A. MEYER—1912—Elements of Hydrology.
24. E. C. MURPHY—1906—Flood Discharge and Frequency in the United States.
25. G. CHAMIER / Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 134.
26. G. B. WILLIAMS / *The Engineer*, Sept 29, 1922.
27. A. GREGORI—1925—Sulla determinazione della portata massima nei corsi d'acqua naturali.

28. O. HAERTEL—Die Wildbach—und Lawinenverbaug / 1925 — Handbuch der Forstwissenschaft.
29. LAUTERBURG—Anleitung zur Berechnung der Quellen / und Stromabflussmengen etc. / 1887—Wiener Allg. Bauzeitung.
30. KRESNIK—Einfache Berechnung der Wassermengen, etc. / 1917—Oesterreichischer Wochenschrift fuer die oeffentlichen Baudienst.
31. POSSENTI / A. GREGORI / 27 / .
32. HOFMANN—1889—Deutsche Bauzeitung, N.º 47.
33. HOFBAUER—1916—Oesterreichischer Wochenschrift fuer die oeffentlichen Baudienst.
34. 1884—Relatório da Comissão encarregada de estudar o Aproveitamento das Águas no Alentejo.

Os dados relativos à Bacia do Sorraia foram extraídos do Projecto da Albufeira do Maranhão na Ribeira da Sêda, da antiga Direcção de Estudos Hidráulicos.

RÉSUMÉ

QUELQUES REMARQUES SUR LES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE L'ÉCOULEMENT

L'Auteur passe en revue les nombreux facteurs qui agissent sur l'écoulement de la pluie qui tombe sur le bassin versant d'un cours d'eau, et remarque que l'écoulement se divise en deux parts, dont l'une ruisselle à la surface du sol, tandis que l'autre est absorbée par les couches souterraines, et ne s'écoule que très lentement.

L'A. signale les défauts attachés à l'emploi du *coefficient de ruissellement*, c'est-à-dire le rapport entre le volume d'eau écoulé pendant un certain temps en un point donné d'une rivière et le volume total des eaux pluviales tombées pendant le même temps à l'amont du point considéré. L'écoulement ne doit pas être exprimé comme un rapport, mais comme le *résidu* de la précipitation pluviale, après déduction des pertes par évaporation, transpiration et infiltration profonde.

Parmi les méthodes de détermination de l'écoulement les plus employées, la méthode directe, basée sur le jaugeage des rivières, est celle qui présente les plus grands avantages. L'A. fait, à ce propos, l'analyse détaillée des résultats de travaux de ce genre entrepris dans le bassin hydrographique du Sorraia, et il en signale l'utilité.

Quand on ne dispose pas de données recueillies pendant une période assez longue, il y a lieu d'employer la *méthode hydro-physique* proposée par le Prof. A. Meyer.

L'A. estime que les formules empiriques proposées par plusieurs ingénieurs ne conduisent jamais à des résultats satisfaisants lorsque les conditions physiographiques des bassins ne sont plus celles sous lesquelles ces formules ont été établies. En ce qui concerne la méthode qui consiste à fixer un pourcentage de la pluie annuelle arbitrairement choisi, l'A. est d'avis qu'il faut la mettre entièrement de côté, puisqu'elle ne tient pas compte du fait qu'il n'existe aucune relation linéaire entre l'écoulement et plusieurs facteurs qui ont de l'influence sur son volume.

SUMMARY

A FEW REMARKS ON THE METHODS OF ESTIMATING RUN-OFF IN A WATERSHED

The writer endeavours to ascertain the various factors that control the run-off in a watershed, and lays particular stress on the fact that run-off consists of surface flow and seepage flow. He also points out that the common expression of the yield of water from a watershed in terms of a percentage of the precipitation is fundamentally unsound.

Run-off may be defined as the *residual* precipitation, after evaporation, transpiration and deep seepage losses have been deducted.

Amongst the different methods of computing run-off usually adopted, the direct method based on the actual gauging of streams is by far the most satisfactory. The writer gives a detailed account of the work of this type carried out on the Sorraia watershed, and emphasizes its value. When, however, only short term records are available, the use of the *Hydro-Physical Method* developed by Prof. A. Meyer may be justified. The writer does not expect the empirical formulae that have been suggested by several engineers to give reliable results if physical conditions are other than those for which such formulae were worked out. As regards the method of simply taking an arbitrary percentage of the rainfall without giving due weight to the fact that there is no linear relationship between run-off and many of the factors that have a bearing on its amount, the writer is definitely of opinion that it should be altogether abandoned.

ZUSAMMENFASSUNG

EINIGE BEMERKUNGEN UEBER DIE METHODEN DER ABFLUSSBERECHNUNG

Der Verfasser versucht zuerst die verschiedenen, den Abfluss in einem gegebenen Gebiete kontrollierenden Faktoren festzustellen, wobei er grossen Wert auf die Tatsache legt, dass der Gesamtabfluss aus oberirdischem und unterirdischem Abfluss bestehe. Er betont, dass die allgemein uebliche Angabe der Wassermenge eines Gebietes in Prozentsen des erfolgten Niederschlags ein grundsatzlicher Irrtum sei. Der eigentliche Abfluss bestehe vielmehr aus der *Restniederschlagsmenge*, die nach Abzug des durch den Boden und die Pflanzen bewirkten Verdunstungsschwundes und der durch Versickerung erfolgten Verlustmengen uebrig bleibt. Von den verschiedenen Methoden, deren man sich zur Berechnung des Abflusses gewoehnlich bedient, sei die auf der Feststellung der tatsaechlich vorhandenen Flusswassermasse fussende direkte Methode ohne Zweifel die beste.

Der Verfasser berichtet dann ausfuehrlich ueber die im Gebiete des Sorraiaflusses in diesem Sinne durchgefuehrten Arbeiten und betont ihren besonderen Wert. In Faellen, wo nur kurzfristige Beobachtungselemente zur Verfuegung stehen, koenne jedoch auch die von Prof. A. Meyer ausgearbeitete *hydro-physikalische Methode* berechnete Anwendung finden. Im Gegensatz zu der von verschiedenen Ingenieuren vertretenen Ansicht, glaubt der Verfasser nicht, dass empirische Formeln fuer Gebiete, deren physikalische Verhaeltnisse von denen, fuer die derartige Formeln ausgearbeitet wurden abweichen, wirklich wertvolle Resultate ergeben koennten. Was schliesslich die Methode anbelangt, nach der man einfach einen beliebigen Prozentsatz der jeweils gegebenen Regenmenge annimmt, ohne dabei Gewicht darauf zu legen, dass zwischen dem Abfluss und den vielen anderen in Frage kommenden Faktoren keine direkte Beziehung besteht, ist der Verfasser der Meinung, dass man sie gaenzlich fallen lassen solle.